علي مولا

المؤسسة العربية للدراسات والنشر



فلسفة العلم

الصلة بين العلم والفلسفة

فيليب فرانك

ترجمة د. علي علي ناصف

فلسفة العلم

صدر هذا الكتاب باللغة الانكليزية تحت عنوان

PHILOSOPHY

of science

The Link Between Science and Philosophy

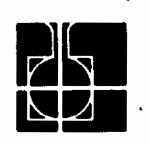
Philipp Frank

المؤسّسة العربيّة
للدراسات والنشر

بناية برج الكارلتون . ساقية الجنزير . ت ٨٠٧٩٠٠/١
برقياً "موكيالي" بيروت . ص.ب : ١١/٥٤٦٠ بيروت

الطبعة الأولى

١٩٨٣



فيليب فرانك

فلسفة العلم

الصّلة بين العِلم والفلسَفة

ترجمة: الأستاذ الدكتور علي علي ناصِف

المؤسسة
العربيّة
للدّراسات
والنشر

الأستاذ الدكتور علي علي ناصف

- أستاذ الفيزياء بجامعة طنطا
- والمستشار بجامعة الاسكندرية
- والمستشار بأكاديمية البحث العلمي والتكنولوجيا
- والعضو والخبير بالمجالس القومية المتخصصة، شعبة البحث العلمي والتكنولوجيا
- والعميد السابق لكلية العلوم

افتتاحية

القليل من التعليم أمر خطر ؛
فإما أن تنهل بغزارة أو لا تذق منابع المعرفة ؛
فالجرعات الصغيرة تغيب وعينا ؛
بينما تعيدنا الجرعات الكبيرة إلى حالة الاتزان .

ربما لم تصب هذه العبارات الشهيرة من قصيدة للبابا اسكندر هدفاً في أي من مجالات المعرفة كما أصابت فلسفة العلم. لقد تقلصت المسافات في الفراغ والزمن تقلصاً كبيراً بفضل التقدم في العلوم في القرن التاسع عشر والقرن العشرين، وتعاظمت قدرة الانسان إلى حد يصعب تصوره. غير أن جانباً كبيراً من النقد الموجه إلى المدنية الراهنة يبرز أنه بالرغم من هذه الانجازات فان الجنس البشري لم يصبح أسعد مما كان عليه، وهو يواجه الآن أخطاراً نابعة من نفس هذه الانجازات العلمية. ويعزو بعض المؤلفين مسؤولية هذا الوضع إلى أن التقدم في العلوم الاجتماعية يسير في زمننا هذا بخطى أبطأ كثيراً من خطى تقدم العلوم الفيزيائية. كما أن بعض المؤلفين يميلون إلى إبراز ضآلة الدعم الذي تحظى به المعارف الأخلاقية والفلسفية إذا قورن بالدعم الموجه إلى معارف العالم المادي. وإذا كان علينا أن نفصح عن رأينا بطريقة أكثر تجرداً وتفهماً، فإننا نذكر أن الصدع القائم بين العلم والفلسفة هو المسؤول عن عجز العلم عن أن يجعل من تقدمه بركة وخيراً للانسان. وقد نصح كثير من القادة الدينيين والتربويين بل والسياسيين بأن يعوق تقدم العلم بالطرق الادارية ليتيح التقدم للعلوم الانسانية. ولن يكون دعم القيم الأخلاقية بالوسائل الادارية والمالية أمراً مجدياً حقاً، كما أن الحكومات والهيئات الاجتماعية لن تصدق رغبتها في استخدام هذه الوسائل لتحقيق هذا الغرض. وقد أصبح من المعروف لدى الجميع أن هناك جماعات مسؤولة تأسى

على تخلف بلدنا في مجال تدريب العلميين عن غيـرها من البلدان التي تنافسها في المجال السياسي والاقتصادي. وتطالب هذه الجماعات بزيادة الدعم المخصص للتدريب في العلوم الطبيعية. كيف يتم التوفيق بين هذه الأهداف المتباينة؟ ومن الأهداف الرئيسية لهذا الكتاب أن يوضح أن دفع الاهتمام بالنواحي الأخلاقية والفلسفية للعالم لا يتطلب أن نجتزىء من التعليم والأبحاث في مجال العلوم.

ومن المؤكد أنه كلما زاد تعمقنا في العلوم الحقيقية، كلما زادت الصلة وخصوصاً بين العلم والفلسفة. وكما يفهم من العنوان، فإن هذا الكتاب يعتبر أن فلسفة العلم هي الحلقة المفقودة التي يجب أن نبحث عنها. وقد كان تقديم هذا المجال يبدأ دائمـاً من أحد مفاهيم العلم التي تتسم بالسوقية والغموض. وفي مرات أخرى كان هذا التقديم يربط بين العلم وبين إحدى الفلسفات التي هي في واقع الأمر مجرد نظام لرموز منطقية لا تمس النظم التاريخية للفلسفة. غير أن هذه الفلسفات قد ساعدت على دعم أنماط الحياة، وخاصة العقائد الدينية والسياسية.

ونحاول في هذا الكتاب أن نبدأ من النمط الذي يكون العلم فيه مفهوماً للعالم وهو في أطيب حالاته الخلاقة والحاسمة. وعلى كل فسوف نحاول أيضاً أن نرسخ الصلات بالأنماط الفلسفية التاريخية، مثل مذهب المثالية ومذهب المادية، التي ساعدت في واقع الأمر على دعم العقائد الأخلاقية والدينية والسياسية.

استغرق عملي في هذا الكتاب خمس سنوات تخللتها مناقشات في موضوعه مع أناس من فئات متنوعة: من بينهم طلبة من كلية هارفارد ومعهد ماساشوتس للتكنولوجيا، وطلبة من مدرسة خريجي الفيزياء بهارفارد، وطلبة من فصول تربية الشباب بالمدرسة الجديدة للأبحاث الاجتماعية في نيويورك.

ولقد تلقيت عوناً قيماً خلال إعداد هذا الكتاب وتحريره من رالف بورهو (السكرتير التنفيذي للأكاديمية الأمريكية للفنون والعلوم). كما تلقيت خلال تحرير هذا الكتاب وطباعته عوناً من أليس أنابيان، وجين بروكهرست، وهاربيت دريل، وريتا فيرنالد وقد قام هنري فيرنالد بعمل الرسومات، وكان قسم التحرير في مؤسسة برنتس هول ذا عون كبير في تحرير النسخة الخطية.

فيليب فرانك

كامبريدج، ديسمبر ١٩٥٦

مقدمة: ما الفائدة من فلسفة العلم؟

١ ـ الصدع بين العلم والفلسفة

إذا استعرضنا آراء أعظم المبدعين في علوم القرن العشرين وجدنا أنهم يؤكدون على حتمية وجود رابطة وثيقة بين العلم والفلسفة. ويقول الأمير لويس دي برولويه[١] منشىء النظرية الموجبة للمادة (أمواج دي برولويه)[١]:

> **نشأ في القرن التاسع عشر حاجز بين العلماء والفلاسفة. فالعلماء ينظرون نظرة شك إلى تأملات الفلاسفة التي كثيراً ما بدت لهم وقد أعوزتها الدقة في الصياغة كما أنها تدور حول قضايا عديمة الجدوى ولا حل لها. أما الفلاسفة فلم يعودوا بدورهم مهتمين بالعلوم الخاصة لأن نتائجها كانت تبدو محدودة. ولقد كان هذا التباعد ضاراً بكل من الفلاسفة والعلماء.**

وغالباً ما نسمع من مدرس العلوم أن الطلبة المنقطعين للبحث الجاد في العلوم لن يشغلوا أنفسهم بالمسائل الفلسفية. ومع كل، فإن اينشتاين، وهو واحد من أعظم الرجال الخلاقين في فيزياء القرن العشرين، قد كتب يقول[٢]:

> **أستطيع أن أجزم بأن أقدر من لقيت من الطلاب أثناء تدريسي لهم كانوا مهتمين اهتماماً كبيراً بنظرية المعرفة. ولا أعني «بأقدر الطلاب» هؤلاء المتفوقين في**

قدراتهم فقط، بل أيضاً في استقلالهم في الرأي. ويميل هؤلاء إلى إثارة المناقشات حول بديهيات العلم وطرقه، ويثبتون بعنادهم في الدفاع عن آرائهم أهمية هذا المنطلق بالنسبة لهم.

ويمكننا أن نفهم هذا الاهتمام بالجانب الفلسفي للعلم من قبل ذوي العقول الخلاقة والواسعة الخيال إذا تذكرنا أن التغيرات الأساسية في العلم كانت دائماً مقترنة بمزيد من التعمق في الأسس الفلسفية. فتغيرات مثل الانتقال من النظام البطليموسي إلى النظام الكوبرنيكي، ومن الهندسة الأوقليدية إلى الهندسة غير الأوقليدية، أو من الميكانيكا النيوتونية إلى الميكانيكا النسبية وإلى الفضاء المنحني والرباعي الأبعاد، كل ذلك قد أحدث تغيراً جذرياً في تفسيرنا للكون على نحو معقول. ويتضح من كل هذه الاعتبارات أن على كل من ينشد فهماً مقبولاً لعلوم القرن العشرين أن يكون ملماً بقدر كبير من الفكر الفلسفي. غير أنه سرعان ما يدرك أن نفس الشيء ينطبق على من يريد الفهم الكامل للعلوم التي نشأت في أي فترة من فترات التاريخ.

٢ ـ الحلقة المفقودة بين العلوم والإنسانيات

ينعي كثير من المؤلفين في شتى دروب الحياة ما يهدد المدنية الحاضرة من خطر كبير: الهوة العميقة التي تفصل بين تقدمنا العلمي السريع وبين فشلنا في تفهم المشاكل الإنسانية؛ وبعبارة أخرى، الهوة بين العلم والإنسانيات، وهي التي عبروا عنها فيما مضى بالتربية[٣].

وفي ملاحظاته على مكان الفلسفة في جامعاتنا عبر روبرت هتشنز[٤] عن اضمحلال التربية الحرة تعبيراً دراميا. ففي كل الفترات السابقة على القرن التاسع عشر كانت الفلسفة واللاهوت هما المادتان الرئيسيتان في كل معهد للتعليم العالي. وقد نظمت كل مجالات المعرفة بواسطة أفكار قدمتها مناهج في الفلسفة. وأصبحت الفلسفة في القرنين التاسع عشر والعشرين قسماً ضمن الأقسام الأخرى مثل أقسام علم المعادن واللغات السلافية والاقتصاد. ولو سئل العلماء لاعتبر معظمهم أن «قسم الفلسفة» هو واحد من أقل هذه الأقسام أهمية. وقد كانت هناك «حلقة مفتقدة» في السلسلة التي يجب أن تربط العلوم بالفلسفة في التعليم التقليدي. فإذا افترضنا أن الانسان ينحدر من عالم الحيوان، فإننا نحتاج لكي

نؤيد هذه النظرية أن نعثر على الحلقة المفقودة بين القرد والإنسان، بين الطبيعة والعقل. ويقول هتشنز(٥):

الغاية من التعليم العالي هي الوصول إلى الحكمة. والحكمة هي معرفة المبادىء والأسباب. ومن ثم فإن الميتافيزياء هي أعلى مراتب الحكمة... فإذا لم نستطع أن نستسيغ اللاهوت فيجب أن نعود إلى الميتافيزياء. ولا يمكن أن تقوم جامعة بدون لاهوت أو ميتافيزياء.

ويذكر هتشنز أن الميتافيزياء المستقلة عن العلوم والتي يكون مفعولها سارياً على نحو أبدي، هي أساس ضروري لأي تعليم جامعي ذي مغزى. ولا بد من أن تحال الفلسفة إلى قسم خاص. ويقترح هتشنز:

على الطالب في أي جامعة مثالية ألا يبدأ بأحدث المشاهدات وصولاً منها إلى المبادىء الأولى، بل ان يبدأ بهذه المبادىء الأولى إلى أي مشاهدات حديثة يمكن أن ندعي أنها ذات أهمية لفهم هذه المبادىء... فالعلوم الطبيعية تشتق مبادئها من فلسفة الطبيعة التي تعتمد بدورها على الميتافيزياء... فالميتافيزياء، دراسة المبادىء الأولى، تتخلل الجميع.... وتعتمد العلوم الاجتماعية والطبيعية على الميتافيزياء كما أنها تابعة لها.

ومن الواضح أن هذا البرنامج يرتكز على الايمان بأن هناك مبادىء فلسفية لا تعتمد على تقدم العلوم، بل يمكن بدلاً من ذلك أن تشتق منها البيانات العلمية سواء منها الاجتماعية أو الطبيعية.

وتكمن صعوبة مثل هذا البرنامج في العثور على تلك المبادىء التي يمكن أن تكون سارية على نحو دائم. وفي الواقع ان دوام المبادىء الفلسفية يمكن أن تكفله السلطات الروحية أو الزمنية أو كلتاهما. ولا يمكن أن يقوم التعليم الجامعي على أسس ميتافيزيائية ما لم يكن ذلك وفقاً لاختيار سلطة تتمتع بالهيمنة الدائمة على أمور التعليم.

٣ ـ العلم كتوازن للعقل

بالرغم من أن اختيار ميتافيزياء دائمة لم يكن يبدو أمراً ذا جدوى، فإن الدعوى الرئيسية التي أثارها هتشنز، وهي الحاجة إلى تعليم جامعي قائم على

المبادىء، تتفق مع ما طالب به فيلسوف وعالم واسع الأفق مثل الفريد نورث هوايتهد، الذي يقول[٦]:

يجب أن تسود روح التعميم في الجامعة. فالمحاضرات يجب أن توجه إلى هؤلاء الذين اعتادوا على التعامل مع التفاصيل والخطوات التقليدية للعمل، أي الذين اعتادوا على الأقل أن يكونوا على استعداد لأن يكتسبوا الخبرات السابقة. لقد كان الطالب منكباً ذهنياً على قمطره طوال الفترة المدرسية؛ ويجب عليه في الجامعة أن يقف على قدميه متلفتاً حواليه.... ومهمة الجامعة أن تساعدك على إهدار التفاصيل لصالح المبادىء.

وعلى أية حال، فإن ما يسميه هوايتهد «بالمبادىء» (القواعد)، ليست هي قضايا «الميتافيزياء الدائمة» التي اقترحها هتشنز كأساس لكل جامعة. يقول هوايتهد: «إن المثل الأعلى للجامعة لا يتمثل في المعرفة بقدر ما يتمثل في القدرة. إن مهمتها أن تحول معرفة الأولاد إلى قدرة الرجال». ونحن ننطلق من معرفتنا بالحقائق صوب المبادىء العامة بالأسلوب الذي نتعلمه في العلم. وفي عام ١٩٤٧ تحدث هربرت دنجل في خطابه الافتتاحي كأستاذ للفلسفة وتاريخ العلوم في جامعة لندن عن «العامل المفقود في العلوم»، فقال[٧]:

إن مهمتي هي أن أتحرى كيف أن جيلاً متفوقاً إلى هذا الحد في ممارسة العلم يتسم بهذا العجز المذهل في فهمه. والبحث الذي أريد أن أطرحه هو أن حالة الأوتوماتية اللاواعية التي يجد العلم نفسه غارقاً فيها اليوم إنما ترجع إلى افتقاده طوال تاريخه لمدرسة نقدية تعمل من خلال الحركة العلمية نفسها، وتقوم بالدور، أو على الأقل بأحد الأدوار، الذي قام به النقد بالنسبة للأدب منذ العصور القديمة.

فالعلم يجب أن يتعامل من جانب مع الحقائق الجامدة العنيدة، ومن جانب آخر مع الأفكار العامة. وما يعلمه لنا العلم هو الربط بين هذه وتلك. والشيء الرئيسي الذي يجب على المعلمين بالجامعة أن يعطوه لطلابهم هو أن يهتموا بإمكانية الربط بين الحقائق الجامدة بواسطة المبادىء المجردة. هذا هو أكثر الموضوعات الجامعية إبهاراً. ويقول عنه هوايتهد[٨]:

أصبح هذا التوازن العقلي جزءاً من التقاليد التي تنتقل عدواها إلى الفكر المثقف. إنه الملح الذي يحافظ على حلاوة الطعام. والمهمة الأساسية للجامعة هي أن تنقل

هذا التقليد على أنه تراث واسع الانتشار يتناقله الانسان جيلاً عن جيل.

ونحن في حاجة إلى فهم كامل لمبادىء الفيزياء أو البيولوجيا، فهماً لا يقتصر على المجادلات المنطقية فقط، بل يشمل أيضاً القوانين السيكلوجية والاجتماعية. وبتعبير موجز، نحن في حاجة إلى أن نكمل العلوم ذات الطبيعة المادية بعلوم الانسان. وإذا تتبعنا أعمال العلوم الوضعية فسوف نسعى بذلك نحو نفس الهدف الذي سعى إليه رجال من أمثال هتشنز من خلال العقائد الميتافيزيقية التي لا تتغير. ومن أجل ألا يقتصر فهمنا على العلوم نفسها فحسب بل يمتد إلى فهم موضع العلم في حضارتنا، وعلاقته بالأدب، والسياسة، والدين، فإننا نحتاج إلى نظام متماسك للأفكار والنظريات تستطيع العلوم الطبيعية وكذلك الفلسفة والانسانيات أن تجد مكاناً لها في هذا النظام. ويمكن أن نسمي مثل هذا النظام «فلسفة العلم»، وسوف يكون هو الحلقة المفتقدة بين العلوم والانسانيات، دون حاجة إلى ادخال أي فلسفة دائمة لا يمكن لغير السلطات أن تساندها.

كان الإحساس بهذه الحلقة المفقودة إحساساً قوياً لدى طلاب جامعاتنا في الأعوام الأخيرة. وقد شكل مجلس الطلاب بجامعة هارفارد لجنة لبحث المناهج، وقد وضعت في عام ١٩٤٢ تقريراً تضمن نص رسالة أرسل بها أحد أبناء نافادا إلى كلية دارتموث، وقد جاء بالرسالة:

> **نحن نعتقد أن التعليم الحر يجب أن يقدم صورة للطبيعة ككل مترابط، وأن تشتمل الصورة على الانسان باعتباره مشاهداً..... ونحن نطالب بأن يعطى التعليم الحر فلسفة حقيقية للمعرفة القائمة على الحقائق...؛ ويستطيع المدرس الجيد أن يبين العلاقة بين مقرره الدراسي والمقررات الأخرى.**

٤ ـ هل العالم «جهول متعلم»؟

منذ حوالى قرن تناول رالف إيمرسون[٩] الصدع القائم في عالمنا الحاضر بين العلوم والانسانيات مشيراً إلى افتقار تدريس العلوم إلى عنصر الجاذبية الانسانية. وقد كتب ايمرسون يقول:

> **هناك ثأر لتلك اللا إنسانية. أي نمط من الرجال يصنعه العلم؟ إن الولد لا ينجذب، فهو يقول: أنا لست راغباً في أن أصبح على شاكلة أستاذي.**

ولا يكاد يكون هناك أدنى شك في أن تأثير مدرس الفلسفة أو التاريخ أو اللغة الانجليزية على التكوين الذهني والعاطفي للطالب الجامعي المتوسط يفوق كثيراً تأثير مدرسي الرياضيات والكيمياء.

وقد أكد كثير من المؤلفين على أن هناك خطراً كبيراً يتهدد ثقافتنا الغربية وهو الخطر الذي يمكن أن ينشأ عن نظامنا التعليمي الذي يدرب العلماء ذوي التخصص العالي الذين يمجدهم الرأي العام. وربما لم يتعرض مؤلف لوصف هذا الوضع بالوضوح والكفاية التي تعرض بها الفيلسوف الاسباني أورتيجا. ي. جاسيت[١٠]. ففي كتابه «The revolt of the Masses» كتب عن عالم هذا القرن يقول «إن العلم نفسه ـ وهو منبت حضارتنا ـ يحوله أوتوماتيكياً إلى «رجل جملي»، ويجعل منه إنساناً بدائياً وهمجياً». ومن ناحية أخرى فإن العالم هو أنسب من يمثل ثقافة القرن العشرين، وهو «نقطة الذروة في الإنسانية الأوروبية». ومع ذلك يرى جاسيت أن العالم الذي تلقى تدريباً متوسطاً في هذا العصر هو:

> **جاهل بكل ما لا يدخل في نطاق تخصصه ومعارفه. ولا بد من أن نقول إنه جهول متعلم، وهذا أمر خطير جداً إذ انه يعني أن جهله لا يتبدى على نمط الرجل الجاهل ولكنه يظهر بكل تبجح الرجل المتعلم.**

ويدعي المؤلف أن منظمة البحث العلمي تتيح للناس المعروفين عقلانياً أن يحققوا نتائج هامة، وأن يصبحوا راضين عن أنفسهم أكثر مما ينبغي.

> **وكثير من الأشياء التي يجب أن تنجز في مجال الفيزياء أو البيولوجيا هي عمل ميكانيكي من النوع الذي يمكن لكل إنسان تقريباً أن ينجزه. ومن أجل الفحوص التي لا حصر لها يمكن تقسيم العلوم إلى أقسام صغيرة والانطواء داخل واحد من هذه الأقسام دون اعتبار للأقسام الأخرى. . . . بل إنه للحصول على نتائج وافرة، ليس من الضروري أن يكون لدى المرء تصور دقيق لمعاني هذه النتائج أو أسسها.**

والعبارة المستقاة عن أورتيجا. ي. جاسيت لا تصف العمل العلمي لرجال مثل نيوتن أو داروين أو بالأحرى اينشتاين وبوهر، ولكنها تميز تمييزاً جيداً الطريقة العلمية التي ورد وصفها في الكتب والفصول المدرسية حيث تبذل محاولة لتطهير علم الفلسفة، وحيث ترسخت طريقة معينة لتدريس العلوم. وفي الواقع أن كثيراً من تقدمات العلوم كان ناشئاً عن تحطيم الجدران التي تقسم العلوم، أما إهمال

المعاني والأسس فهو أمر لم يكن سائداً إلا في فترات الركود.

وإذا لم نشأ للعلماء أن يصبحوا طبقة من الجهولين المتعلمين ـ وهم الذين يلعبون دوراً ضخماً في عالمنا الحاضر ـ فإن تعليمهم لا يصح أن يكون مقيداً بالمعالجة الفنية الصرفة، ولكنه يجب أن يولي اهتماماً كاملاً بالنواحي الفلسفية وبموضع العلم في الساحة العامة للفكر الانساني.

٥ ـ الاهتمام التكنولوجي والفلسفي بالعلوم

لم تقتصر التقدمات المثيرة في العلم دائماً على ما استحدثه من التقنيات التي أضافت إلى حياة الإنسان مزيداً من البهجة أو مزيداً من التعاسة، مثل التليفزيون أو الطاقة الذرية. إن النظام الكوبيرنيكي الذي تتحرك الأرض في الفضاء وفقاً له، قد أتى بوصف للكون لا يمكن تفسيره في نطاق المفاهيم التي أنشأها الإنسان لكي يصف بها حالات السكون والحركة التي تجري في حياته اليومية. فقد استحدثت ميكانيكا نيوتن مفهومي «القوة» و«الكتلة» اللذين لا يتفقان مع المعنى المرسل على البديهة لهاتين الكلمتين. وقد أثارت تلك النظريات اهتماماً تجاوز نطاق المجموعة المحدودة من العلماء والفلاسفة؛ فالاهتمام بهذه النظريات فاق الاهتمام بكثير من التقدمات التقنية البحتة.

وقد تكررت هذه الظاهرة مراراً على مدى التاريخ الفكري. فهؤلاء الذين تلقوا تعليمهم في الربع الأول من هذا القرن قد شهدوا الاهتمام الذي أثاره إعلان نظرية النسبية لأينشتاين، التي لم يكن من الممكن صياغتها في إطار المفاهيم «المستساغة» (المتفقة مع الفطرة السليمة) التي ظلت على مر الأجيال تساعد على وصف تجاربنا حول المسافات العادية والمسافات الفضائية. وعلى نحو مماثل، فإن النظرية التي تعالج تصرف الجسيمات الذرية (نظرية الكم) لم يمكن صياغتها باستخدام المفاهيم «المستساغة» عن السرعة والموضع، والسبب والنتيجة، والتحرر والحتمية. ولقد رأينا أن تقدم العلم كان له في كل العصور تأثير قوي على تفسير الطبيعة تفسيراً مستساغاً وقد أعطى دفعة للاهتمام بالعلم لا تقل على دفعته للتقدم التكنولوجي.

والاهتمام بالعلوم غير الناشىء عن تطبيقاتها التقنية والناشىء عن الصورة

المستساغة التي تكونت لدينا عن الطبيعة يمكن أن نسميه باختصار اهتماماً «فلسفياً». إن تعليم العلوم في مدارسنا قد أغفل في معظمه هذا الاهتمام الفلسفي. بل إنه ينادي بأن من واجب المدرس أن يقدم العلم منعزلاً تماماً عن محتواه الفلسفي. وكنتيجة لهذا النوع من التدريب أصبح وضع مدرسي العلوم وضعاً غير مرض على نحو ما بين زملائهم المواطنين. وفي أعمدة المجلات المخصصة للمشاكل الثقافية، بل ومن فوق بناء كنائسنا على اختلاف مذاهبها، نجد من يدّعي أن علوم القرن العشرين قد أسهمت إسهاماً كبيراً في حل مشاكل البشرية: توفيق بين العلم والدين، وتفنيد للمذهب المادي، وإعادة ترسيخ الإيمان بحرية الارادة والمسؤولية الأخلاقية. إلا أنه قد ادعي في أماكن أخرى بأن العلم قد ساند المذهب المادي ومذهب النسبية، وأنه أسهم في تقويض الإيمان بالحق المطلق والقيم الاخلاقية. ولإثبات هذه النقاط أقحمت نظريات فيزيائية معاصرة مثل نظرية النسبية ونظرية الكم.

إذا سألنا فيزيائياً مدرباً (ناهيك عن خريج في الهندسة) عن رأيه في هذه الأمور فإننا نلحظ على الفور أن تدريبه الفيزيائي لم يزوده بأي رأي. والواقع أننا نجد خريج العلوم في غالبية الأحوال أضعف حيلة من أي قارىء ذكي لمجلات العلوم المبسطة. وكثير من حملة الشهادات في الفيزياء والهندسة سوف يعجزون عن تقديم أية إجابة سوى الإجابات السطحية. وحتى هذه الإجابات السطحية لم يكتسبوها من خبرتهم المهنية، ولكنها حصيلة قراءاتهم لمقالات مبسطة في الجرائد أو غيرها من المجلات الدورية. بل إن كثيراً منهم لن يجازف بتقديم الإجابات السطحية، ولكنه يكتفي بأن يقول «هذا ليس مجالي، وهذا كل ما هنالك». وإذا لم يشبع مدرس العلوم الفضول الذهني للطالب فإن هذا سوف يروي ظمأه بتناول المشروب الروحي أينما يقدم إليه. وفي أحسن الأحوال سوف يحصل على المعلومات من إحدى المجلات المبسطة الجيدة. إلا أن الأمر قد يكون أسوأ من ذلك إذ قد يقع ضحية أناس يفسرون له العلم لصالح مذهب فكري محبب يكون غير علمي أو يكون ضد العلم في كثير من الأحيان. وقد ادعوا أن النظريات الفيزيائية في القرن الحالي قد «هجرت الفكر المنطقي»، لصالح ماذا؟ ـ لست أدري على وجه التحديد إذ لا يمكن أن أتخيل وجود بديل للفكر المنطقي في العلوم.

وقد يبدو الأمر متناقضاً، إلا أن مراوغة القضايا الفلسفية كثيراً ما أوقعت خريجي العلوم أسرى للفلسفات البالية. وهذه النتيجة ذات الاتجاه الانعزالي في تعليم العلوم كثيراً ما كانت موضع شكوى هؤلاء النفر من العلماء الذين أولوا الفلسفة قسطاً مكثفاً من تفكيرهم. إن كل طفل يكتسب من خلال ثقافته صورة معقولة للكون، أي بعبارة أخرى «فلسفة». إنه يتعلم كيف يستخدم كلمات مثل «السكون والحركة»، و«الزمان والمكان»، و«المادة والفعل»، و«السبب والنتيجة». . . . الخ وهذه المفردات اللغوية ذات صلة بالألفاظ التي تعبر عنها مثل «افعل» و«لا تفعل» التي تحكم سلوك الطفل. وقد ظلت الفلسفة المكتسبة خلال عهد الطفولة وسن النضج هي التي تشكل المعتقدات «المستساغة» لدى العالم وذلك في غير مجال تخصصه. ومن ناحية أخرى، وفي نطاق العلم نفسه، نجد أن هذه «الفلسفة المستساغة» قد حلت محلها فلسفة أخرى أشد خطورة يسوء فيها الأسلوب المستساغ. وأوضح مثل على ذلك هو التغيرات في خطة الكلام عن «السكون والحركة»، ابتداءاً من كوبيرنيكوس واستطراداً إلى وقتنا الراهن من خلال أعمال رجال مثل أينشتاين وبوهر.

٦ ـ فلسفات بالية في مؤلفات العلماء

اكتسب طالب العلم بهذه الطريقة شخصية مزدوجة، أو نوعاً من الشيزوفرانيا يرجع إلى التناقص بين فكره العلمي وبين فلسفته في عهد الطفولة. وربما كان الفريد نورث هوايتهد هو أفضل من صاغوا هذه الحقائق صياغة واضحة، وهو الرجل العظيم في العلم والفلسفة. وهو يبدأ[١١] بملاحظة أنه في الفترة التي لم يطرأ فيها تغير كبير على العلم مضت فترة طويلة على بعض المبادىء الأساسية دون أن يعترض أحد عليها، بحيث أصبح من الممكن تقبلها دون نقد يذكر. يقول هوايتهد:

> من الأمور (كمشورة عملية لتدبير الحياة القصير الأمد) أن يكف المرء عن نقد الصياغات العلمية طالما كانت البنية الفوقية تؤدي دورها. إلا أن تجاهل الفلسفة عند القيام بتصحيح الأفكار يعني التسليم بصواب الأضرار الفلسفية العارضة التي تشربها المرء من مربيته أو من مدرسه أو من أنماط التعبيرات الجارية.

ويتحدث هوايتهد عن «الفلسفة العارضة» لأنها تعتمد على صدفة مولدنا

وعلى نوع الفلسفة التي نتشربها أثناء طفولتنا. وهو يبرز العوامل التي تحدد هذه «الفلسفة» تحديداً دقيقاً: التعليم في المرحلة السابقة للمدرسة، والمدرسة بما فيها مدرسة الأحد، بل والألفاظ وتراكيب الكلام في اللغة التي نتعلم بها. ويرى هوايتهد أن سلوك العلماء الذين يتمسكون بالفلسفة «العارضة» لمرحلة طفولتهم له شبيه في مجال الدين: وهو سلوك هؤلاء «الذين يحمدون العناية الإلهية على أنها جنبتهم متاهات الحساب الديني بأن أسعدتهم بأن ولدوا في أحضان الإيمان الحقيقي».

وغالباً ما يظل العلماء محتفظين بفلسفة طفولتهم بالرغم من التغير الذي يطرأ على تفكيرهم العلمي، ولهذا فكثيراً ما يحدث أن يكون عرضهم للعلم منطوياً على بقايا فلسفات عفا عنها الدهر. وقد أوضح أرنست ماسن هذه النقطة بجلاء شديد، مثله في ذلك مثل هوايتهد الذي يعدله في العلم وفي الفلسفة، بالرغم من أنه حبذ وجهات نظر مختلفة تماماً، وقد اتفق كلاهما على التأكيد على أنه بدون فلسفة سوف يصبح العلم مطية للفلسفات التي عفا عنها الدهر. كتب ماسن يقول[١٢]:

> لسنا ميسرين لشغل مراكز السيادة.... ومع ذلك فإني اعترف بصراحة بأن شاغلي هذه المراكز لا يحركون فضولي. أنا لست فيلسوفاً ولكني رجل علم فقط.... ومع ذلك، لست أريد أن أكون عالماً يتبع توجيهات فيلسوف واحد دون تبصر مثلما يتوقع من المريض في كوميديا موليير أن يتبع إرشادات طبيبه، ولم أحاول أن أدخل فلسفة جديدة في العلم، بقدر ما أحاول أن أخلصه من إحدى الفلسفات القديمة والبالية.... لقد كانت هناك بعض المغالطات التي لاحظها الفلاسفة أنفسهم.... ولقد بقيت هذه المغالطات زمناً طويلاً لأنها لم تواجه بالنقد اليقظ، مثلها في ذلك مثل نوع الحيوان الذي لا يستطيع البقاء حياً داخل القارة ومن ثم يمكن إنقاذه بنقله إلى جزيرة نائية حيث لا يوجد له أعداء....

وعلى أية حال، فقد هوجمت هذه البقايا من الفلسفات البالية في العلم من قبل رجال تختلف خلفياتهم عن خلفية ماسن أو هوايتهد. ويمكننا على سبيل المثال أن نقتبس من أقوال فردريك أنجلز[١٣] الذي كان أكبر عون لكارل ماركس[١٤] في جهوده العلمية والفلسفية والسياسية. كتب انجلز يقول[١٥]:

> يعتقد العلماء الطبيعيون أنهم يحررون أنفسهم من الفلسفة بأن يتحاملوا عليها أو

يسيئوا استعمالها. إنهم، على أية حال، لا يستطيعون أن يشقوا طريقهم دون فكر. ولكي يكون لهم فكر لا بد أن يكونوا قادرين على تحديد هذا الفكر. ولكنهم يقتبسون هذه الأنماط في الفكر من الوجدان العام للأشخاص الذين يدعون بالمتعلمين، وهو وجدان تسوده بقايا الفلسفات التي بليت زمناً طويلاً، أو يقتبسونها من الفلسفة التي أجبروا على الاستماع إليها في الجامعة (وهي فلسفات ليست هزيلة فحسب، ولكنها أيضاً خليط من الآراء لأناس ينتمون إلى أسوأ المدارس وأكثرها تلوناً)، أو يقتبسونها من قراءاتهم غير الهامة للكتابات المنوعة في الفلسفة. ومن ثم فهم غير بعيدين عن مجال الفلسفة. وأكثر الناس إساءة إلى الفلسفة هم هؤلاء الذين يقعون أسرى لأسوأ البقايا المبتذلة في أسوأ الفلسفات.

ومنذ أن أصبحت فلسفة كارل ماركس وفردريك إنجلز، وهي الفلسفة المادية الجدلية (Dialectical Materéalisme) هي الفلسفة الرسمية للاتحاد السوفيتي والدول التابعة له، فإن الآراء التي وردت في هذا الجزء المقتبس كان لها تأثير بعيد المدى على موقف الاتحاد السوفيتي تجاه العلم. فقد فحص كل ما يمثل العلم بحثاً عما قد يكون مستتراً من فلسفة معادية لفلسفة الحزب الحاكم. وقد ساعد هذا الأسلوب في كثير من الحالات على أن يتخذ تكئة لتصنيف العلم بواسطة الدولة.

٧ ـ إعلام أم تفهم؟

على الحكومة في وقتنا هذا أن تخصص قدراً كبيراً من جهدها ودعمها المالي للأبحاث العلمية. وفي الدول الديموقراطية لا يمكن للحكومة أن تتولى مثل هذا البرنامج ما لم تكن تحظى بتأييد المواطنين؛ إلا أن المواطنين لن يؤيدوا الحكومة ما لم يفهموا ما هو الموضوع. وهنا تنشأ المشكلة: كيف يتعلم المواطنون أن يحسنوا الحكم على تقارير الخبراء ـ في موضوع مثل أحقية مشروعات الأبحاث ـ دون أن يكونوا هم أنفسهم متخصصين في العلوم؟ وقد كتب جيسم بريانت كونانت[١٦] يقول: «على كل مواطن أمريكي في النصف الثاني من هذا القرن أن يحاول قدر المستطاع أن يفهم كلاً من العلم والعلماء».

ويعتقد كثير من الناس أن هذا الهدف يمكن أن يتحقق عن طريق نشر نتائج العلم بتدريس مناهج للراشدين تساعد الأذكياء من الرجال والنساء بطريقة قابلة

للاستيعاب على أن يتشربوا «الحقائق» التي يكتشفها العلماء. وقد أوضح كونانت أن الرجل العادي لن يكون قادراً على الحكم على تقارير العلماء بمجرد استيعاب «النتائج» و«الحقائق». وكل ما يحتاجه المواطن هو أن يفهم ما يجري في ذهن العالم للحصول على النتائج، وعلى أي نحو تكون هذه النتائج صالحة للأخذ بها ومحلاً للثقة ويمكن استخدامها كأساس للحكم على الأشياء. يقول كونانت:

> **لا يمكن العلاج في مزيد من النشر للأنباء العلمية بين غير العلميين. فهناك فرق بين معرفة أنباء العلم معرفة جيدة وبين فهم العلم. . . . وما نحتاج إليه هو سبل ننقل بها معرفة تكتيك العلم واستراتيجيته إلى غير العلميين[١٧].**

> **إن الجهل بالأسلوب الذي يفكر ويتكلم به الخبراء العلميون هو السبب في عجز المرء المفتقر إلى الخبرة عندما يحاول أن يدرس المقترحات التي يقدمها مثل هؤلاء الخبراء دراسة دقيقة[١٨].**

إن المحتوى الرئيسي لأي فلسفة في العلم إنما ينطوي على الأسلوب المنظم لفهم العلم وتكتيكاته واستراتيجيته.

٨ ـ حواشي المقدمة

(١) ـ لويس دي برولويه، «L'Avenir de la Science»، (باريس ١٩٤١).

(٢) ألبرت أينشتاين، في نعيه لأرنست ماسن (Physikolische Zeitschrift, Vol. 17 (1916) page 101...).

(٣) الموسوعة البريطانية، (المجلد ٧، نبذة عن «التربية») تنافس التناقض بين التعليم «المنطقي» والتعليم «الحر». فالأول يركز على المطالب العاجلة، بينما «يتناول الثاني نظرة مستفيضة إلى الحياة ومطالب الجماعة»، وهو يحاول أن يطور قدرات الطالب من خلال منهج في «الفنون الحرة»، متضمناً الرياضيات، والعلوم الأساسية، والآداب، والتاريخ. . . الخ.

(٤) روبرت ماينارد هتشنز (١٨٩٩ـ). مرب أمريكي، رئيس ومدير جامعة شيكاغو منذ ١٩٢٩ حتى ١٩٥١.

(٥) التعليم العالي بأمريكا (نوهافن: مطابع جامعة ييل، ١٩٣٦).

(٦) الفريد نورث هوايتهد (١٨٦١ـ ١٩٤٧)، طبعة منتور الشعبية «أهداف التربية».

(٧) هربرت دنجل (١٨٩٠ -   ). عالم وفيلسوف بريطاني، استاذ تاريخ وفلسفة العلوم، يونيفرستي كوليدج، لندن.

(٨) الفريد نورث هوايتهد، «Science in the Modern World»، كتب منتور.

(٩) رالف والدو ايمرسون (١٨٠٣-١٨٨٢). كاتب وشاعر أمريكي، «Essays on Representative Man»، ١٨٤٩؛ «Nature»، ١٨٣٦؛ «The Conduct of Life»، ١٨٦٠.

(١٠) جوزيه أورتيجا ي. جاسيت (١٨٨٣ -   ) كاتب وفيلسوف اسباني. ظهر أصل كتابه «The Revolt of the Masses» عام ١٩٣٠، وقد طبع الآن في الطبعات الشعبية لكتب منتور.

(١١) في كتابه «The Principle of Relativity». (لندن، مطابع جامعة كمبريدج ١٩٢٢).

(١٢) أرنست ماسن (١٨٣٨ - ١٩١٦)، فيزيائي، وسيكلوجي وفيلسوف نمساوي. في كتاب «Erkenntnis und Irrtum» (المعرفة والخطأ) (ج. أ. بارت. ليبزج، ١٩٠٥).

(١٣) فريدريك انجلز (١٨٢٠ - ١٨٩٥). سياسي ألماني، وفيلسوف وداعية للاشتراكية.

(١٤) كارل هنريش ماركس (١٨١٨ - ١٨٨٣). فيلسوف سياسي ألماني وقائد اشتراكي. تعاون ماركس وانجلز تعاوناً وثيقاً لوضع فلسفة «المادية الجدلية».

(١٥) في كتابه «Dialectics of Nature». كتب انجلز النسخة الخطية لهذا الكتاب بين عام ١٨٧٣ وعام ١٨٨٢، إلا أن النسخة لم تكن قد تمت عند وفاة المؤلف، ولم تنشر حتى عام ١٩٢٥. وقد ظهر على شكل المجلد ٢ لأرشيف ماركس وانجلز، بموسكو، باللغتين الألمانية والروسية. وقد كتب جون. د. س. هالدين افتتاحية الترجمة الإنجليزية (الناشرون العالميون، نيويورك ١٩٤٠). وقد أصبح الكتاب الأساس الرسمي لكل ما يمثل فلسفة العلم في الاتحاد السوفيتي.

(١٦) جيمس بريانت كونانت (١٨٩٣ -   ). عالم ومرب ودبلوماسي أمريكي. رئيس جامعة هارفارد ١٩٣٣ - ١٩٥٣. والمندوب السامي الأمريكي بألمانيا ١٩٥٣- ١٩٥٥. وسفير أمريكا بألمانيا ١٩٥٥ - .... وقد نشر «On Understanding Science» (نيوهافن، مطابع جامعة ييل ١٩٤٧)؛ «Science and Common Sense» (نيوهافن، مطابع جامعة ييل ١٩٥١).

(١٧) ج. ب. كونانت «Science and Common Sense op. cit».

(١٨) أ. ب. كوهين وف. ج. واطسون، «General Education in Science» (كمبريدج، ماس، مطابع جامعة هارفارد ١٩٥٢).

[١]
السلسلة التي تربط العلم بالفلسفة

١ ـ وقائع ومفاهيم

قال إدجار آلان الشاعر(١) في قصيدته «سوناتا العلم»:

أيها العلم، أنت الوليد الحق للعصر القديم
أنت الذي تغير كل شيء بعينيك الثاقبتين،
لماذا تثقل هكذا على قلب الشاعر
كنسر يرفرف بجناحين من الحقائق الكئيبة؟
ألم تنتزع ديانا من مركبتها
وتطرد هامادرياد من غابته؟

سوف يكون من الصعب على العالم الحديث أن يعترف بأن العلم يتألف من «حقائق كئيبة». وكلما تعمقنا في دراسة العلم نجد أنه لا هو «بالكئيب»، ولا هو بالذي يتحدث عن «الحقائق». و«مركبة ديانا» هي أقرب كثيراً إلى «الحقائق الكئيبة» لحياتنا اليومية منها إلى الرموز التي يصف بها العلم الحديث مسارات الأجرام السماوية. «فالآلهة» و«الحوريات» أقرب شبهاً بالناس الذين نلقاهم في حياتنا اليومية، منها بالمجال الكهرومغنطيسي، والطاقة أو الأنتروبيا التي تملأ «الكون غير المفطور»، وهي المسؤولة، طبقاً للعلم، عن «الحقائق الكئيبة» لحواس الرؤية المباشرة لدى الإنسان.

وعندما نتحدث عن العلم فإن حديثنا يجري دائماً عن مستويين في الخطاب

أو التجريد. المستوى الأول هو مستوى تجاربنا اليومية المستساغة (السليمة الفطرة)، فنحن نلحظ نقطة قائمة تتحرك بالنسبة لنقط أخرى قائمة، وهذا هو مستوى الرؤية المباشرة؛ وتتعامل التقارير المعملية مع مثل هذه الحقائق البسيطة في خبرتنا. ويمكن للمرء أن يحلل هذه الخبرات البسيطة من وجهة النظر السيكلوجية، إلا أننا لن نفعل ذلك هنا. فسوف نعتبره أنه من المسلم به أننا نشترك جميعاً في هذه الخبرات. ولا نعني بهذا أن هذه الخبرات لا يمكن أن تناقش بمزيد من التعمق، إلا أن هذه المناقشة لا تمت إلى الفلسفة. والمستوى الثاني الذي يجب أن نشير إليه هو مستوى المبادىء العامة في العلم. وهذا يختلف تماماً عن مستوى الخبرة المستساغة (خبرة الفطرة السليمة). فالمستوى الأخير يمكن أن يشارك الجميع فيه، أما المستوى الأول فيستخدم لغة بعيدة كل البعد عن الخبرة اليومية. ويتألف العلم أساساً من هذه المبادىء العامة. فليس من العلم أن تجمع بعض النصوص عن النقط الراقصة. والمشكلة الرئيسية في فلسفة العلوم تتمثل في كيفية الانتقال من النصوص المستساغة إلى المبادىء العلمية العامة. فهذه الخبرات والنصوص المستساغة يتقبلها الجميع كما ذكرنا. وقد عبر الشاعر الأمريكي الكبير والت هويتمان[٢] عن هذا في أبياته:

لن نقتنع إطلاقاً بالمنطق والمواعظ
إن رطوبة الليل تسري عميقاً في روحي
ومثل هذا الشيء فقط يمكن أن يقنع أي رجل أو امرأة
ومثل هذا الشيء فقط لا يمكن أن ينكره أي انسان

ومن نوع هذه النصوص أن تقول: «إن في هذه الحجرة مائدة مستديرة، وقد نقلت من هذه الحجرة إلى الحجرة المجاورة»، أو «ينطبق المؤشر على علامة بين رقمي ٢، ٣ على هذا التدريج؛ والآن تغير موضع المؤشر ليغطي علامة بين رقمي ٣، ٤». ومن المؤكد أن هذه النصوص تصف «حقيقة أعلى» مما تصفه نصوص أخرى. كما أننا لا ندعي أن الكون الذي نصفه هو الكون «الحقيقي». إننا نجعل من هذه النصوص أساساً للعلم بأجمعه فقط لأنه يمكن الحصول على اتفاق عام بين الناس ذوي الثقافة المتوسطة حول ما إذا كانت هذه النصوص «صادقة» في حالة بعينها أو غير صادقة. ويمكن أن نشير إلى الكلام الذي يتألف من مثل هذه النصوص على أنه كلام مستساغ أو كلام كل يوم. «إنه كذلك» بالنسبة إلى

هويتمان لأنه «يثبت نفسه لكل رجل أو امرأة».

لكن الوضع يتغير تماماً إذا اعتبرنا بيانات عامة مصاغة في عبارات مجردة مثل «قانون التصور الذاتي» أو «بقاء الطاقة». وسواء سميناها مبادىء أو مقدمات أو فروضاً أو تعميمات فهناك شيء واحد مؤكد، وهو أنه لا يمكننا حيالها فهماً عاماً مثل الذي نحققه حيال النصوص المستساغة. ومن ثم فمن الطبيعي أن يثار السؤال: لماذا نقبل بعض النصوص العلمية العامة ولا نقبل البعض الآخر؟ وما هي أسباب قبولنا لهذه النصوص العامة؟ وهذه مشكلة سيكلوجية واجتماعية إلى حد ما. فالنصوص العامة في العلوم الفيزيائية ليست ببساطة حقائق تجريبية. والحقيقة أن الناس يقدمون ويتقبلون هذه المبادىء العامة: وهذه الحقيقة، على أية حال، لا تمت إلى الفيزياء، بل لنقل إنها تمت إلى علم النفس (السيكلوجيا) أو إلى علم الإنسان والبشرية (الانثروبولوجيا). ومن ثم فإننا نرى أنه حتى فلسفة العلم الفيزيائي لا تستنفدها الفيزياء نفسها. ونحن على أية حال نعلم الأسباب التي من أجلها نقبل بعض هذه المبادىء العامة وليس كل هذه المبادىء. وفلسفة العلوم هي جزء من علوم الإنسان، ولن نفهم هذه الفلسفة ما لم نفهم شيئاً عن العلوم الأخرى للإنسان مثل علم النفس وعلم الاجتماع وغيرهما. والأسباب التي من أجلها قبلت المبادىء العامة للعلم إنما ترجع جميعاً إلى فلسفة العلم. فما هي العلاقة بين الخبرة المستساغة وهذه المبادىء العامة؟ وهل مجرد الخبرة المستساغة كافية؟ وهل البيانات العامة للعلم محددة تحديداً فريداً أم هل يمكن لنفس المجموعة من الخبرات المستساغة أن تنبثق منها نصوص عامة مختلفة؟ وإذا كان الأمر كذلك فكيف لنا أن نختار إحدى هذه الخبرات دون غيرها؟ كيف لنا أن نستخلص النصوص العامة للعلم من هذه الخبرة أو تلك؟ تلك هي المشكلة الرئيسية لفلسفة العلم.

يمكننا أن نصف العلاقة بين العلم والفلسفة وصفاً روتينياً. فإذا تحدثنا بأسلوب عادي عن سلسلة تربط الخبرة المستساغة بالنصوص العامة للعلم فقد نتعرض للفلسفة عند نهاية هذه السلسلة حيث تصبح النصوص أكثر تعمياً. وسوف نرى أن اتجاهنا نحو التعميم يزداد كلما قل تحديد هذه النصوص تحديداً فريداً، وكلما صارت أقل تأكيداً. ولن نستطرد حالياً في التفريق بين العلم والفلسفة، وسوف نناقش ذلك فيما بعد.

٢ ـ أنماط الوصف

حينما تتجمع لدينا حصيلة كبيرة من الخبرة المستساغة في مجال ما ونسجلها فقد نستخلص منها قوائم مستفيضة من المؤشرات أو الأوصاف لنقاط ملونة راقصة. إلا أن مجرد التسجيلات، إياً كانت وقتها وشمولها لا يعطينا أدنى إشارة إلى كيفية صياغة نظرية أو فرض نستطيع أن نستنبط منها بطريقة عملية نتائج ما نسجله. وإذا استهدفنا أن نعثر على فرض يتلاءم تلاؤماً كبيراً مع تسجيلاتنا فقد يكون من المستبعد أن نحصل على نتيجة غير واضحة وقد كتب بيرس (S. Pierce)[٣] في عام ١٨٩١ يقول:

> **إذا اختبرت الفروض اختباراً عشوائياً، أو لأنها تلائم ظواهر معينة، فسوف يقتضي الأمر من الفيزيائيين النظريين في العالم حوالى نصف قرن في المتوسط، لكي يضعوا كل نظرية موضع الاختبار، وربما يصل عدد النظريات إلى آلاف الملايين، من بينها نظرية واحدة صحيحة، وسيكون أملنا ضئيلاً في تحقيق إضافات رصينة في الموضوع الذي يشغلنا في زمننا الراهن[٤].**

وإذا حاولنا أن نضع فرضاً أو نظرية قائمة على أساس ما نسجله من مشاهدات فسرعان ما نلاحظ أننا، بدون وجود أي نظرية، لن نعرف حتى ما يجب أن نشاهده. والمشاهدات التي تحدث بطريق الصدفة لن تؤدي عادة إلى أي تعميم. وقد يكون من المفيد عند هذه النقطة أن نتابع فقرة من كتاب «Course of Positive Philosophy»[٥] لأوجست كومث. وقد اعتبر كومث أباً لمدرسة فكرية عرفت «بمذهب الايجابية». وطبقاً لإحدى الأفكار التي أخذ بها الفلاسفة، أشاد كومث ومدرسته بقيمة المشاهدات، وقلل، بل رفض تكوين النظريات بالخيال الخلاق. كتب كومث يقول:

> **إذا كان علينا، من ناحية، أن نبني النظرية على المشاهدات، فإن من المعقول، من ناحية أخرى، أنه لكي نجري المشاهدات، لا بد أن تكون في ذهننا نظرية ما. وخلال تأملنا للظواهر، إذا لم نربطها ببعض المبادىء، فسوف يتعذر علينا أن نربط هذه المشاهدات المعزولة أو أن نستخلص منها أية نتائج. وسوف يتعذر علينا، فضلاً عن ذلك، أن نرسخها في أذهاننا. وسوف تبقى هذه الحقائق، عادة، غير ملحوظة لأعيننا.**

ومن ثم فإن العقل البشري، من حيث الأصل، سوف يكون واقعاً بين شقي الرحى، تضغط عليه الضرورة الملحة لكي يشكل نظرية حقيقية من ناحية، وتضغط عليه من ناحية أخرى ضرورة لا تقل إلحاحاً في أن يخلق نظرية ما من أجل أن يجري مشاهدات معقولة. وسوف تصبح أذهاننا أسير دائرة هلامية إذا لم يهيىء لها الحظ مخرجاً من خلال التطورات التلقائية للمفاهيم اللاهوتية[٦].

وهناك شبه كبير بين المفاهيم اللاهوتية والخبرة المستساغة. فهي تفسر خلق الآلهة للكون كشيء مماثل لصنع الساعة بواسطة صانع الساعات وسوف نرى فيما بعد أن هذا النوع من التماثل كان يجماع التفسيرات المتافيزيقية للعلم. ويجب عند هذه النقطة أن نعلم بوضوح أن مجرد تسجيل المشاهدات لا يزودنا إلا «بنقاط راقصة» وأن «العلم» لا يبدأ إلا إذا استطردنا من هذه الخبرات المستساغة (خبرات الفطرة السليمة) إلى الأنماط البسيطة للوصف، التي نسميها نظريات. والعلاقة بين المشاهدات المباشرة والمفاهيم التي نستخدمها في «الوصف العلمي» هي الموضوعات الرئيسية التي تعني أية فلسفة للعلم.

ولنأخذ مثالاً بسيطاً نسبياً، حيث تكاد هذه العلاقة أن تكون علاقة مباشرة. لنتخيل أننا أسقطنا جسماً في الهواء ـ وليكن مثلاً قصاصة ورق خفيفة ـ (مثل ورقة السيجارة)ـ فماذا يحدث؟ إذا فعلنا ذلك مرات عديدة ـ مئات المرات أو آلاف المرات أو مئات الآلاف من المرات ـ فسوف نلحظ أن تحرك الورقة يختلف في كل مرة عن تحركها في المرات الأخرى. وتراكم هذه المشاهدات ليس علماً. وليست هذه هي الطريقة التي يعمل بها الفيزيائي، ما لم تكن في مجال غير متقدم كثيراً حيث لا يكاد يعرف عنه أي شيء. وإذا درسنا الفيزياء فسوف نعرف بعض المبادىء ـ عن الحركة المنتظمة، والحركة المتسارعة، والحركة الناشئة عن الجمع بين هاتين الحركتين. هذه خطط من خطط الوصف. ويجب أن نبتدع هذه الخطط قبل أن نختبرها. لكن كيف السبيل إلى ابتداعها؟ هنا يتدخل الخيال البشري. إننا نحاول أن نتخيل خطة بسيطة. ولكن ما هو المعنى المقصود بالبساطة؟ إننا يجب أن نحاول كل الخطط المختلفة التي يمكن تخيلها حتى نعثر على الخطة التي تصف لنا بالتقريب الحركة الحقيقية لقصاصة الورق الساقطة في الهواء. وسوف يجد المرء في كتب الفيزياء المدرسية نصاً يشير إلى أن هذه الخطط هي «حركة مثالية». وهذا تعبير مضلل للغاية؛ وهو عائد إلى مبدأ ميتافيزيائي يقول بأن لكل جسم اختباري

«مثالاً» أو «مثيلاً» يناظره. ونتيجة التمثيل هي نتيجة تعسفية تماماً. وكلمة «تمثيل» لا تعني سوى أنك تقارن شيئاً اختبارياً بفكرة ابتدعتها. وهنا يكون من المهم معرفة الهدف الذي صنعت من أجله هذا الابتداع أو «التمثيل»؛ وعلى سبيل المثال تجد أنه من المفيد في بعض الحالات أن نتمثل الجو العادي بأنه وسط كثيف جداً، وان نتمثله في حالات أخرى بأنه فراغ.

ولنعد الآن إلى قصاصة الورق الساقطة في الهواء. ففي الميكانيكا الحالية نقارن كل حركة بخطة معينة هي خطة حركة نقطة كتلية تتحرك في الفضاء. ونحن نعتبر نوعين من الحركة كمركبتين لحركة جسم هابط، حركة جسم يتحرك إلى أسفل بعجلة منتظمة، وحركة منتظمة لجسم في اتجاه أفقي. ونحن نسمي الحركة الأولى حركة تثاقلية، ونسمي الثانية حركة قصور ذاتي. ويمكننا أن نستنبط من الخطة أشياء عديدة معينة، ولكننا لا يمكننا أن نستنبط كل شيء. فهذا التحليل تحليل صحيح تقريباً بالنسبة للهواء عندما يكون خفيف الضغط، ولكنه ليس كذلك بالنسبة لوسط عالي اللزوجة. ونحن في حاجة إلى ابتداع خطة أخرى إذا أردنا أن نحسب تأثير الوسط الكثيف أو اللزج.

والنمط الذي نصف به حركة جسم في الهواء عندما يكون منخفض الكثافة هو الحركة ذات «العجلة» أو «التسارع» الثابت. ومفهوم التسارع يختلف كثيراً جداً عن النقط الراقصة في الرؤية المباشرة، وإذا وصفنا موضع الجسم المتحرك وصفاً رياضياً بإحدى الدلائل الكيفية للزمن، فإن وصف العجلة يكون بحساب «مشتقات من الدرجة الثانية بالنسبة للزمن» بمفهوم حساب التفاضل. ولكي نشاهد ما يعادل المشتقة الثانية في نطاق الخبرة المستساغة يجب إجراء عدد كبير جداً من القراءات المؤشرة والدقيقة جداً. ويجب ألا يغيب عن بالنا أن «المشتقة الثانية» تعرف بأنها حد لعدد لا نهائي من القيم.

ومن ثم يمكننا أن نقول إن العالم التجريبي لا يشاهد إطلاقاً في قوانين العلم الكميات الموجودة في أنماط الوصف العلمي، وقد ورد في كتاب سوزان لانجر «Philosophy in a New Key»:

> ولا يمكننا أن نقول إن الرجل في مختبره يشاهد الفرض الحقيقي من فضوله على الإطلاق. . . . والمعلومات الحسية التي تبنى عليها مقترحات العلم الحديث هي،

في معظمها، نقط فوتوغرافية ولطخات، أو خطوط صغيرة منحنية مرسومة على الورق. والذي يمكن مشاهدته مباشرة هو إشارة «الحقيقة العلمية». أما استخراج المقترحات العلمية فيتطلب ترجمة هذه المعلومات[٨].

٣ ـ الفهم بواسطة التماثل

سوف نتناول في الوقت الحالي الحركة في الهواء المخفف جداً. هل يقنع العقل البشري حينئذ إذا عرف خطة التحرك بعجلة ثابتة؟ كلا. إنه يتساءل لما يتم التحرك بعجلة إلى أسفل وبسرعة منتظمة في الاتجاه الأفقي. وإذا شئت أن تفسر في المدرسة (ونحن جميعاً نعتبر تلاميذ في مدرسة الكون)، فإنك تقول إن الجسم يتسارع إلى أسفل بتأثير جذب الأرض له. لكنك إذا أمعنت الفكر قليلاً فسوف تدرك أن هذا لا يقدم تفسيراً على الاطلاق. إذ ما هو الجذب؟ ففي العصور الوسطى كانت التفسيرات تصدر عن منطلق انثروبولوجي، وكانت تتضمن مقارنة بأفعال الإنسان. كان المعتقد أن الأجسام الثقيلة تميل إلى الاقتراب من مركز الأرض كلما ازداد اقترابها من المركز كلما ازداد ابتهاجها بذلك وكلما ازدادت سرعة تحركها نحو المركز. وبالرغم من أن الأمر أصبح اليوم أكثر تعقيداً فإننا لا نزال نستخدم مفهوم التجاذب. وإذا سجلنا مواضع قصاصة الورق الهابطة فإننا نفعل ذلك على مستوى الخبرة اليومية. ولكننا نحاول أن «نفهم» القانون العام لحركة القصاصة بمقارنتها مباشرة بالتجاذب، وهو ظاهرة سيكلوجية لحياتنا اليومية. إننا لا نقنع بأن ندخل الخبرة اليومية وحدها بالمشاهدات المباشرة للقصاصة الهابطة.

وتفسير الحركة المنتظمة للجسم أمر أكثر صعوبة. إننا نقول إن هذه الحركة ناشئة عن القصور الذاتي؛ إننا جميعاً نعرف ماذا يعني ذلك لأننا ندرك من خبرتنا اليومية أننا خاملون. والقصور الذاتي يعني البلادة، أي العزوف عن التحرك. وعلى سبيل المثال، يجب أن يكون هناك حافز على أن ينهض المرء في الصباح، كأن يذهب لحضور محاضرة أو لكي يتناول إفطاراً شهياً. وبناء على المقارنة يبدو لنا قانون القصور الذاتي مقبولاً جداً. إلا أننا نندهش لأن الإنسان قد مرت عليه آلاف السنين قبل أن يكتشف هذا القانون. وعلى كل، فإن هذه الطريقة في التفسير بإدخال خبرتنا حول بلادتنا تعتبر طريقة اعتباطية تماماً، فالأمور ليست بالبساطة التي تبدو عليها.

فإذا كان المرء نائماً في الفراش داخل قطار فإنه لا يستطيع أن يعتمد ببساطة على بلادته في معرفة ما إذا كان، دون أن يبذل جهداً، سوف يظل في فراشه أو سوف يقذف به إلى خارج القطار. فإذا توقف القطار أو غير من سرعته فإن «بلادة» المرء لن تسعفه لكي يبقى ساكناً في فراشه. وحقيقة ما يحدث هو أنه، دون أن يبذل المرء جهداً، فإنه يظل محتفظاً بسرعته بالنسبة إلى بعض الكتل المادية. وفي المثل الذي ضربناه بحالة القطار فإن الأرض تمثل الكتلة المذكورة. إلا أنه في حالة بندول فوكولت أو انحراف المقذوفات أثناء هبوطها نتيجة لدوران الأرض فإننا نستطيع أن ندرك أن الأرض ليست إلا بديلاً عن كتلة أخرى أكبر منها نحافظ على سرعتنا بالنسبة إليها، وهي على سبيل المثال كتلة مجرتنا. بل سوف نرى فيما بعد أن هذا الأمر ليس صحيحاً كل الصحة. وعلى أية حال، فإن التماثل في خبرتنا اليومية مع البلادة لا يمكننا من التنبؤ بالآثار المنظورة للحركة إلا على نحو غامض لا يفيد إلا في ظروف خاصة جداً. إن ما يهم حقاً في العلوم المادية هو الخطة المجردة: إن كل سرعة تظل ثابتة بالنسبة إلى كتلة معينة تؤلف ما نسميه بالنظام القصوري. إن المقارنة مع ظواهر الحياة اليومية لن تسفر عن أي تناقض مع هذه الخطة. إن الغموض البادي في تناظر البلادة مع القصور الذاتي هو من نوع الغموض بين تناظر التجاذب مع الجاذبية.

إذا وجدنا خطة بسيطة ـ مثل العجلة الثابتة لتحرك جسم ساقط في الهواء الخفيف ـ فجدير بنا أن نفكر على النحو التالي: إن التحرك بعجلة ثابتة تماماً هو تمثيل للسقوط الفعلي للجسم في الهواء الخفيف. وكلمة «التمثيل» (idealization) تلمح إلى أننا نستبعد الانحرافات العارضة في الحركة الفعلية، ونبقى فقط على «الجزء الأساسي للحركة»، أي الحركة بعجلة منتظمة. وكلمة «أساسي» بالنسبة لرجل العلم تعني «ملائم للوصول إلى الهدف المنشود». وهي تعني في المثال الذي نحن بصدده «ملائم لأبسط وصف عملي لسقوط جسم في الهواء الخفيف».

ويمكننا على هذا النحو أن نميز بين المركبات «الأساسية» لحركة ما والمركبات «العارضة». ومع كل، فقد كان هناك دافع لإثارة مزيد من الأسئلة العامة، مثل: ما هي «الصفات الأساسية» للحركة بوجه عام؟ أو ما هو «جوهر الحركة»؟ وإذا شئنا أن نستخدم كلمة «جوهر» على النحو الذي نستخدمها به في الحالة الخاصة

فإن «الصفات الأساسية» لشيء ما يجب أن تعني لدينا تلك الصفات الضرورية لتحقيق غرض معين. وبدون تحديد هذا الغرض لن يكون هناك معنى واضح لكلمة «أساسي» ما لم يكن هناك غرض قد اعتبر أنه أمر مسلم به ولا داعي لذكره.

فإذا بنى المرء شيئاً ـ وليكن بيتاً على سبيل المثال ـ فمن الواضح أن «الصفات الأساسية» للبيت هي تلك التي تهم باني البيت، أي الصفات التي تجعله بيتاً صالحاً للسكن، أو لأن يباع بربح جيد. ومن ثم يمكننا أن نتحدث عن جوهر شيء طبيعي، كحجر، أو حيوان، أو إنسان، إذا افترضنا أن لصانعه غرضاً أو هدفاً محدداً من صنعه.

وإذا تحدثنا عن جوهر الأشياء الطبيعية، فإننا ننظر إلى هذه الأشياء على أنها مثيلة لأشياء اصطناعية من عمل الإنسان[٩]. وهذا التناظر إما أن يكون مفترضاً افتراضاً ضمنياً أو أن يكون أمراً صريحاً بالرجوع إلى صانع الكون المادي. وسوف نعود فيما بعد إلى هذا الأسلوب في الحديث عندما نناقش التفسيرات الميتافيزيقية للعلم.

٤ ـ خطة أرسطو للعلوم الطبيعية

لاحظنا (في القسم ١) أن حديثنا عن العلم يجب أن يجري على مستويين. أحد هذين المستويين هو ما سميناه مستوى الخبرة اليومية القائمة على الفطرة السليمة، أي مستوى المشاهدات المباشرة. والمستوى الآخر هو مستوى المبادىء العامة للعلوم. ولن نكون فعالين إذا قلنا إن معظم ما حدث من سوء فهم في التفسيرات الفلسفية للعلم قد نشأ بسبب أن التمييز بين هذين المستويين، والطريقة التي ارتبط بها أحدهما بالآخر لم يفهما فهماً واضحاً. فهذان المستويان للخبرة اليومية والجمل المجردة قد لعبا دوراً كبيراً عبر تاريخ الفلسفة. وقد عني الأستاذ نورثروب (F.S.C.Northrop)[١٠] بهذا التمييز في كتابه المعروف «The Meeting of East and West». وهو يتناول التمييز بين الفلسفة الشرقية (الهندية والصينية) والفلسفة الغربية (الانجليزية والفرنسية والألمانية) مستخلصاً:

ركز القسم الشرقي من العالم اهتمامه على طبيعة كل الأشياء في فوريتها العاطفية

والجمالية على نحو إيجابي ووضعي مطلق. وقد انصرف إلى اعتبار مجموع طبيعة الأشياء على أنه المجموع الكلي للحقيقة المتوقعة فوراً والتي عبرنا عنها في هذا الكتاب «بالاستمرارية الجمالية المميزة» (differentiated aesthetic continuum). أما الغرب التقليدي فقد بدأ بهذه الاستمرارية ولا يزال يعود إلى أجزاء ليؤكد ما يدعيه وينسبه لنفسه من نظريات عن الأشياء وبنيتها، بينما يميل الشرق إلى تركيز اهتمامه على هذه الاستمرارية الجمالية المميزة، مستهدفاً الاستمرارية ذاتها، فيها، ولها، ومن أجلها[١١].

وفي عبارة أكثر بساطة، نقول إن الاستمرارية الجمالية المميزة هي الهدف الرئيسي للفلسفة الشرقية. وقد بدأت الفلسفة الغربية بهذه الاستمرارية، ووضعت نظريات؛ فإذا شاءت أن تختبر إحدى هذه النظريات فإنها تعود إلى الاستمرارية. والهدف الرئيسي للفلسفة الغربية ليس هو الاستمرارية الجمالية المميزة ولكنه القواعد المجردة، مثل بقاء الكتلة والطاقة... إلخ. ولست أدري ما إذاكان هذا التمييز بين الفلسفة الشرقية والفلسفة الغربية تمييزاً صائباً أم غير صائب. وأياًكان الصواب أو الخطأ بالنسبة للشرق أو الغرب، فهناك أمر مؤكد على كل حال، وهو أن هناك نمطين لتناول الموضوع، الأول هو الخبرة الناشئة عن الادراك الفوري، والثاني هو تراكيب المفاهيم.

ولكي نعطي صورة واضحة وبسيطة لهذا التناول الغربي للعلوم والفلسفة يمكن أن نبدأ من أرسطو[١٢] الذي زودتنا كتاباته بأقدم محاولة لتناول العلم والفلسفة تناولاً منظماً. ففي كتابه عن الفيزياء (الذي تضمن كلاً من الفيزياء وفلسفة الفيزياء) يصف أرسطو «الطريق الطبيعي للفحص» فيقول:

يبدأ الطريق الطبيعي للفحص بما هو أكثر يسراً في التعرف عليه وما هو أشد وضوحاً لنا؛ ونستطرد إلى ما هو بديهي أو في غير حاجة إلى تدليل وما هو في جوهره أقرب إلى إدراكنا.... فقدرتنا على معرفة الشيء أمر يختلف تماماً عن فهمنا له فهماً موضوعياً. ومن ثم فإننا ننصح بهذا المنهج: أن نبدأ بما هو أكثر وضوحاً لنا ولو كان في جوهره أشد غموضاً، ثم نتقدم نحو ما هو في جوهره أكثر وضوحاً وأقرب إلى الفهم.

ولكي نصور هذا الطريق في الفحص يمكننا أن نستخدم أحد الأمثلة التي

سبق ذكرها: إن نتائج مشاهداتنا لقصاصة الورق الهابطة يمكن معرفتها مباشرة لأننا نرى هذه النتائج بأعيننا. ولكن هذه النتائج غامضة في جوهرها لأنها لا تخضع لقانون مقبول. ومن ناحية أخرى فإن قانون القصور الذاتي وقانون السببية وما شابهها هي قوانين مفهومة ومقبولة لأنها تعكس بعض التناظر مع خبراتنا المألوفة جداً. وقد أراد أرسطو أن يقول إن من إحدى الخصائص الأساسية للطريقة العلمية أن نبدأ مما هو معروف لنا معرفة مباشرة إلى ما هو مفهوم لنا.

٥ ـ من «الاجماليات المشوشة» إلى «المبادىء الجلية»

كان العلم والفلسفة في العصور القديمة والعصور الوسطى جزءاً من سلسلة فكرية واحدة، ولم يكن أحدهما يميز عن الآخر. كان أحد طرفي هذه السلسلة يمس سطح الأرض ـ حيث المشاهدات التي يمكن معرفتها مباشرة. وكانت السلسلة تمتد لتربط بين هذه المشاهدات وبين الطرف الآخر للسلسلة، وهو الطرف الأكثر شموخاً ـ ونعني به المبادىء (أو القواعد) الجلية. وقد تكون الطريقة التي عبر بها أرسطو عن هذا الأمر موضع نقد في أيامنا هذه، إلا أن صياغتها لا تزال، حتى في زمننا هذا، إطاراً عملياً يرجع إليه، ويفيد في كل المناقشات التي تتناول العلاقة بين العلم والفلسفة. قال أرسطو، «إن ما كان في بادىء الأمر واضحاً وبسيطاً هو في الواقع اجماليات مشوشة أمكن لنا فيها بعد أن نعرف عناصرها ومبادئها عن طريق التحليل»(١٤). ومن أمثال هذا الإجمال المشوش لدينا مشاهدتنا لقصاصة الورق الهابطة. وعندما حللنا هذا الإجمال المشوش حصلنا على قاعدة القصور الذاتي، وعلى مفهوم النقطة الكتلية، وغير ذلك من المفاهيم الجلية. وهذا وصف ينطبق بطريقة معينة على كل فحص علمي. بل إنه بالنسبة لأكثر المهندسين العمليين الواقعيين لا بد أن يعرفوا أن هناك نوعين من النصوص: نصوص بشأن المشاهدات المباشرة والمبادىء الاختبارية الوضعية الفجة التي يسميها المهندس «بالطرق أو المبادىء التقريبية»؛ ومن ناحية أخرى هناك المبادىء الجلية مثل قانون القصور الذاتي. ولا ينكر أحد وجود هذين المستويين. ومن أوضح أوجه الخلاف بين هذين المستويين هو: أن المهندس سوف يغير قواعده التقريبية بتأثير مشاهدات جديدة، ولكنه لن يعترف بسهولة بأن مبدأ عاماً مثل قانون القصور الذاتي يمكن أن يكون قانوناً خاطئاً. وإذا كان عليه أن يختار بين أحد أمرين فسوف يفترض عادة

أن الخطأ كان في مشاهداته وليس في قانون القصور الذاتي.

سوف تفيد السلسلة كتصوير نفهم به الفارق بين العلم والفلسفة. وهذا الفارق لم يكن موجوداً بشكل دائم. ففي العصور القديمة والوسطى كانت كل السلسلة، بدءاً بالحقائق المشهودة وانتهاء بالمبادىء الجلية، تسمى علماً، كما كانت أيضاً تسمى فلسفة. وإذا نظرنا اليوم إلى الطريقة التقليدية لتعليم العلوم والفلسفة في الجامعات نجدأنهما يدرسان في أقسام مختلفة. فالتعاون بينهما ضئيل. ويعتقد العلماء في كثير من الأحيان أن الفلاسفة هم مجرد متحدثين، وأن ما يقولونه ليس إلا هراء. أما الفيلسوف فيرى أن العالم هو رجل ضيق الأفق في تفكيره إلى حد بعيد، وأن مداركه محدودة في مجال صغير جداً، بينما الكون بأجمعه هو مجال اهتمام الفيلسوف. ومن التفسيرات التي كثيراً ما تطرح هو أن العلم قد أصبح تخصصياً إلى الحد الذي لم يعد من الممكن معه أن يعرف الرجل علوم الأخلاق، والسياسة، والفيزياء، والشعر، والبيان. . . . الخ كما كان أرسطو يفعل. فليس بمقدور أحد أن يكون شمولياً في المعرفة والفهم في وقتنا هذا. إن كل فرد يجد نفسه مستغرقاً في التعلم لكي يلم بموضوع متخصص تخصيصاً دقيقاً. وهناك من يقول: «يعرف العالم كثيراً عن قليل من الأشياء، ويعرف الفيلسوف قليلاً عن الكثير من الأشياء». والحديث عن التخصص المتزايد في العلم لا ينبئنا بالقصة كلها على أية حال. فالعلم الآن، وعلى نحو ما، أقل تخصصاً مما كان عليه منذ خمسين عاماً: فهناك كثير من الصلات المتشابكة. ولنعتبر الفيزياء والكيمياء على سبيل المثال. فمنذ خمسين عاماً كان كل منهما يعتبر مجالاً يختلف عن مجال الآخر اختلافاً كبيراً. وكان تلاميذ أحد الموضوعين يعيرون تلاميذ الموضوع الآخر بأنهم يضيعون وقتهم سدى. بل إن الفلاسفة قد أعطوا سبباً واضحاً يبرز استمرار انفصال الفيزياء عن الكيمياء، فالفيزياء تعنى بالكم بينما تعنى الكيمياء بالكيف. وبعد ذلك نشأت الكيمياء الفيزيائية ثم نشأت الفيزياء الكيميائية. وأصبح اليوم من العسير أن نذكر ما هو الفارق بين الفيزياء والكيمياء، ولا يظهر الفارق إلا عند وصف أبسط الخبرات حول أدنى مستويات التجريد. ويتضاءل هذا الفارق كلما ارتفع مستوى التجريد. وقد اعتاد الفيزيائيون على احتقار الكيمياء لأنها كانت معارف كيفية على نحو فج. كانت شيئاً شبيهاً «بالطهي». أما الآن فقد أصبحت قوانين الكيمياء

تستنبط من الفيزياء ومن الديناميكا الحرارية والديناميكا الكهربائية وميكانيكا الكم. ولذلك أصبح من اليسير الآن على الفيزيائي أن يتعلم الكيمياء وأن يفهمها، كما أصبح من اليسير على الكيميائي أيضاً أن يتعلم الفيزياء. ونفس الشيء نجده يحدث بين الفيزياء والبيولوجيا، أو بين الاقتصاد والانثروبولوجيا. فإلى عهد قريب كان الاقتصاد والانثروبولوجيا يعتبران لا صلة لأحدهما بالآخر. فالاقتصاديون أناس قادرون على حساب اتجاهات سوق الأوراق المالية، أما الانثروبولوجيون فهم قوم يدرسون القبائل الهمجية. والآن يجب أن نفهم الاقتصاد كعادة قبلية وأن تفهم العادات القبلية من وجهة النظر الاقتصادية.

ولهذا لا يمكننا أن نقطع اليوم بأن المرء لا يستطيع أن يكتسب إدراكاً في مجالات مختلفة من العلم. إن اختفاء الوحدة القديمة بين العلم والفلسفة يصعب أن يعزى إلى التخصص المتزايد في العلم.

٦ ـ «العلم» و«الفلسفة» كطرفين لسلسلة واحدة

سبق أن ناقشنا وصف أرسطو «للطريق الطبيعي للفحص» الذي «يبدأ بما هو أيسر في معرفته وأكثر وضوحاً لنا، ويستطرد إلى ما هو في غير حاجة إلى تدليل وما هو مفهوم في جوهره. . .». والفكرة كلها مبنية على أن هناك قواعد عامة واضحة وجلية لنا بالرغم من أنها نائية عن خبراتنا الفورية. وإذا تأملنا الكون من حولنا فإننا نلحظ أنواعاً متعددة من الظواهر الفيزيائية: حركة الكواكب حول الشمس، وحركة الجسيمات في مجال كهرومغنطيسي، وما إلى ذلك. أما لماذا تحدث هذه الظواهر ولِمَ تتبع قوانين معينة فهذا هو الأمر الغامض. ودور المبادىء العامة هو أن تجعلنا نعقل لماذا تحدث هذه الظواهر بهذه الطريقة دون غيرها من الطرق. وإذا تذكرنا السلسلة التي تربط بين النصوص الخاصة بخبرتنا المباشرة وبين النصوص العامة للعلم، فإننا قد نتساءل عن كنه دور هذه السلسلة في الحياة البشرية. ويمكننا أن نصف هذا الدور بأنه نصف طرفي السلسلة.

ونبدأ بطرف السلسلة المناظر للحقائق التي نلحظها بطريقة مباشرة والتي يرد وصفها في لهجة الحياة اليومية. إننا نحاول أن نضع مبادىء نستطيع أن نستنبط منها هذه الحقائق الملحوظة. إننا نستطيع في بعض الحالات أن نستنبط من مبدأ واحد

عدداً ضخماً من الحقائق المنظورة. فمن قوانين نيوتن الكهرومغنطيسية نستطيع أن نستنبط حقائق خاصة بالظواهر الكهربائية والمغنطيسية؛ ومن قوانين مندل نستطيع أن نستنبط أنماط الوراثة... إلخ. إن تلك المبادىء تحدد الاتجاهات في عالم الحقائق. إنها تساعدنا في التطبيق العملي لمشاهداتنا. وفي إيجاز، يمكننا أن نسمي هذا الطرف من السلسلة بالطرف العملي أو التقني. إن هذا الاستخدام للسلسلة ـ وضع مبادىء نستطيع أن نستنبط منها تطبيقات وحقائق مشهودة ـ هو ما نسميه اليوم «علماً». و«العلم» لا يهتم كثيراً بما إذا كانت هذه المبادىء معقولة أم لا. فهذا أمر لا يعني العالم كعالم. وفي كثير من الكتب الدراسية نجد ما ينص على أنه ليس من المهم إطلاقاً أن تكون هذه المبادىء معقولة. وتذكر هذه الكتب أن مبادىء علوم القرن العشرين، كالنسبية ونظرية الكم، ليست معقولة على الإطلاق، ولكنها متناقضة في ظاهرها ومشوشة. ومن ثم فإنه يمكننا أيضاً أن نسمي هذا «الطرف التجريبي أو التقني» بأنه «الطرف العلمي» للسلسلة.

وفي العلوم القديمة كان متطلباً في القانون، مثل قانون القصور الذاتي، على سبيل المثال، ان يكون من المستطاع استنباطه من المبادىء المعقولة أو الجلية مثل مبدأ السبب الكافي (لا يمكن لشيء أن يحدث دون سبب) أو قانون خلود المادة (كل المادة خالدة: فهي لا يمكن أن تفنى أو تستحدث). وهذا الطرف من السلسلة حيث تستنبط قوانين الفيزياء من المبادىء الجلية والتي لا تحتاج إلى تدليل يمكن أن نسميه بالطرف «الفلسفي» للسلسلة. وقوانين التعميم المتوسط، القوانين الفيزيائية، يتم اختصارها نفسها إلى قوانين عمومية أعلى تكون جلية على الفور. سيفهم كل امرىء لماذا نحتاج إلى الطرف العلمي، ولكن لماذا نحتاج إلى هذا الطرف الفلسفي للسلسلة؟ ليس هناك شك في أن الجنس البشري كان دائماً في حاجة إلى هذا الطرف الفلسفي، وذلك راجع إلى أغراض عملية. وفي واقع الأمر أن الوضع كان كذلك على مر القرون، وأنه لا يزال كذلك في وقتنا الراهن. وعندما ظهرت مبادىء النسبية وميكانيكا الكم قال بعض الناس: «ربما أمكن استنباط نتائج مفيدة من هذه المبادىء، ولكن المبادىء نفسها غامضة بل هي في ظاهرها متناقضة. إنها تخدم عرضاً عملياً معيناً، إلا أنها ليست جلية. إننا لا «نفهم» هذه الفطريات كما نفهم الميكانيكا النيوتونية». وهناك بطبيعة الحال آراء

مختلفة تماماً حول الشروط الدقيقة التي يجب توافرها في المبدأ لكي نعتبره مبدأ جلياً. يقول البعض إن مثل هذا المبدأ يعرف «مباشرة بالحدس»، ويؤكد آخرون على أن ما يعتبره الإنسان مبادىء «جلية» هو دالة من دلائل التطور التاريخي. وعلى أية حال، فإن الرغبة في وضع هذه المبادىء «التي يمكن فهمها» رغبة قائمة؛ وهذه حقيقة سيكلوجية. ولكن ما هي الحاجة التي تلبيها حقاً تلك المبادىء؟ إنها لا يمكن أن تكون حاجة علمية وإلا كانت المبادىء مبادىء علمية، مثل قوانين الفيزياء، وكانت نتائجها التجريبية مبرراً لها.

ولقد تعلمنا من خلال أعمال العلماء أن الظواهر، على قدر ما يمكن أن تبدو عليه من تعقيد، فإنها يمكن في حالات كثيرة أن تستنبط من صيغ أو قوانين رياضية بسيطة. فأوضاع قصاصة الورق الهابطة يمكن وصفها وصفاً تقريبياً بالصيغة التي تقول إن «العجلة ثابتة». ومواضع الكوكب بالنسبة للشمس يمكن وصفها تقريباً بأن نقول إنها «تقع» على قطاع مخروطي يسمى «القطع الناقص». وسوف يصف العالم هذه الحقائق كما يلي: بدءاً من مشاهدة المواضع، يبحث العالم عن صيغة يستطيع المرء أن يستنبط منها المواضع المنظورة. وتسمى العملية التي يعثر بها على هذه الصيغة عملية «استقراء» (induction)، ويتطلب العثور عليها تصوراً خلاقاً من جانب العالم. وإذا أردنا أن نصف هذا العثور على الصيغة باللهجة المعتادة فإن هناك طريقتين لهذا الوصف: فيمكننا أن نقول إن هذه الصيغة من اختراع العالم وإنها لم يكن لها وجود قبل أن يعثر العالم عليها. إننا نقارنها باختراع مثل اختراع التليفون الذي لم يكن موجوداً قبل أن «يخترعه» الكسندر جراهام بل. فالفرض أو الصيغة هي نتاج للتصور البشري، نتاج لقدرة العالم على الاختراع. ويجب اختبارها بالتجربة الحسية.

ومع ذلك، يمكن أيضاً وصف نفس الحالة وصفاً مختلفاً بتشبيهها بالخبرة المستساغة (خبرة الفطرة السليمة). فيمكننا أن نقول إن الصيغة كانت موجودة دائماً ضمن الحقائق المتطورة وقد «اكتشفها» العالم كما اكتشف كولومبوس أمريكا. والعالم ليس مخترعاً؛ إنه «يبصر» الصيغة «بفطره الباطن» عندما ينظر إلى الظواهر المرئية من خلال أعضائه الحسية. فالعالم يستخدم «البصيرة» في اكتشاف الصيغة.

وتتفق الطريقة الأخيرة في وصف نشاط العالم مع «التقليد العظيم» للفلسفة

السكولاستية[١٧]، بينما نجد وصف العالم بأنه مخترع أقرب إلى خط الفلسفة الوضعية[١٨] (Positivism) والفلسفة الذرائعية[١٩] (Pragmatism). ويبرز هانز ريشنباخ[٢٠] في كتابه «The Rise of Scientific Philosophy» أنه مما تميزت به فلسفة العصور القديمة والوسطى أنها تعتقد بوجود بصيرة (رؤية بواسطة العقل) تناظر رؤيتنا بواسطة العين. فكما نرى الأشكال والألوان بأعيننا فإننا نرى الأفكار والقوانين العامة بعقولنا. كان هذا هو الأساس خاصة في نظرية أفلاطون[٢١] عن الأفكار. وطبقاً لما يقول ريشنباخ فإن الفلسفة التقليدية تجادل على النحو التالي:

طالما أن الأشياء المادية موجودة فإنه يمكن رؤيتها. وطالما أن الأفكار موجودة فإنها يمكن أن ترى من خلال عين العقل.... ويفسر أفلاطون الرؤية الرياضية بأنها نظير للادراك الحسي[٢٢].

ويقول المحدثون من العلماء إن الفروض والصيغ من نتاج التخيل، وأنها تختبر بالتجربة والخطأ. ولكن فيلسوف «التقليد العظيم» سوف يقول إن العالم «يبصر» الصيغة بقوة ذكائه من خلال الظواهر المرئية. ويشدد أرسطو على التناظر (التماثل) بين الإدراك بالحس المباشر والبصيرة العقلية المباشرة، فيقول إنه «كما أن الحواس دائماً لا تخطىء بالنسبة للأشياء المحسوسة، فكذلك يفعل العقل بالنسبة لكنه الأشياء». ويقول سان توماس اكونياس[٢٣] «ومن ثم فإن العقل لا ينخدع بالنسبة لجوهر الشيء، كما لا تنخدع الحاسة بالنسبة لمدركها الصحيح»[٢٤].

إن الإيمان بهذا التماثل يفسر الإيمان بقدرة عقلنا على أن «يكتشف» ببصيرته القوانين العامة للطبيعة، وبأن يكون واثقاً من صحتها.

٧ ـ المعايير «العلمية» والمعايير «الفلسفية» للحقيقة

يمكننا أن نسأل: على أي أساس نقبل بعض المبادىء ولا نقبل البعض الآخر؟ ويمكننا أن نفرق بين معيارين مختلفين للحقيقة، أو بتعبير أقرب إلى تعبير الفطرة السليمة، أن نفرق بين سببين لقبول أحد المبادىء. ومن المهم تاريخياً أن هذه التفرقة موجودة منذ عهد قديم جداً. وقد أجاد صياغتها في القرن الثالث عشر قائد فلسفة القرون الوسطى توماس أكويناس. والمعياران اللذان وضعهما

اكويناس ـ واللذان وصفهما في كتابه «Summa Theologica» ـ يمكننا أن نعتبرهما الفارقين اللذين يميزان جزئي سلسلتنا[٢٥]. فالسبب الذي يحملنا على تصديق نص ما هو أننا نستطيع أن نستنبط منه نتائج يمكن تدقيقها بالمشاهدة. وبعبارة أخرى، نحن نصدق النص بسبب نتائجه. وعلى سبيل المثال، نحن نصدق قوانين نيوتن لأننا نستطيع أن نحسب بها حركات الأجرام السماوية. والسبب الثاني لتصديقنا، والذي كانت فلسفة القرون الوسطى تعتبره السبب الأهم ـ هو أننا نصدق نصاً ما لأنه يمكن استنباطه منطقياً من المبادىء الجلية.

ومن وجهة نظر علومنا الحديثة فإننا نطبق فقط أول هذين السببين. ويمكننا بالمفهوم الحديث أن نسميه المعيار العلمي. وكما يبين توماس أكويناس، فإن هذا المعيار لم يكن مقنعاً أبداً. وإذا احتكمنا به فإننا نجد على سبيل المثال أن النتائج المستخلصة من مجموعة معينة من المبادىء تتفق مع المشاهدات، ومن ثم فإننا نستنتج أن هذه المبادىء قد تكون سليمة، إلا أن هذا لا يعني أنها حتماً سليمة. فقد يمكن أن نستنبط نفس النتائج المشاهدة من مجموعة مختلفة من المبادىء. ومن ثم فإن مشاهداتنا لا يمكن أن تكون حكماً بين مبدأين. ولنفترض مثلاً أن حافظة نقود شخص ما قد اختفت. يمكننا أن نفترض أن شخصاً ما قد سرقها، ومن ثم يمكننا أن نستخلص أنه إذا سرق صبي الحافظة فإنها تختفي. ولكن إذا كان السارق فتاة فإن النتيجة لا تتغير. وإذا افترضنا أن صبياً قد سرق الحافظة ثم شهدنا بعد ذلك أن الحافظة لم تختف فإننا نستخلص من ذلك أن الفرض كان باطلاً، أما إذا اختفت الحافظة فقد يكون الفرض سليماً، ولكن ذلك لن يكون حتمياً. وبما أننا لا نستطيع أن نتصور كل الفروض الممكنة، فإننا لا نستطيع أن نجزم بأن فرضاً معيناً هو الفرض الصحيح. إن الفرض لا يمكن «إثباته» بالتجربة. والتعبير السليم هو أن نقول إن التجربة «تعزز» أحد الفروض. فإذا لم يجد شخص ما حافظته في جيبه فإن ذلك يعزز الفرض بوجود لص بالمقربة، ولكنه لا يثبت هذا الفرض. فقد يكون هذا الشخص قد ترك حافظته في بيته. ومن ثم فإن الحقيقة المشاهدة تعزز الفرض بأنه قد يكون نسيها. وأي مشاهدة تعزز كثيراً من الفروض، والمشكلة هي أن نحدد درجة التعزيز المطلوبة. فالعلم يشبه قصة بوليسية. إن كل الحقائق قد تعزز فرضاً معيناً ولكن الفرض الصحيح قد يكون مختلفاً اختلافاً كلياً. ومع ذلك، يجب أن نقر بأنه ليس لدينا معيار للحقيقة في العلم غير هذا المعيار.

وفي الحالة الثانية، حالة المعيار الفلسفي للحقيقة، فإن الفرض يعتبر صحيحاً إذا كان من الممكن استنباطه من الحقائق الجلية، الواضحة، الغنية عن البرهان. وهذان المعياران قائمان عند طرفي سلسلتنا. فعند الطرف العلمي نقول إن المبادىء يتم إثباتها بواسطة نتائجها المشهودة، وهذا أمر ينطبق على أكثر القواعد عمومية. ولكن إذا بدأنا بمبادىء السببية، أو السبب الكافي، وحاولنا اختبارها بواسطة نتائجها من خلال التجربة، فإن النتيجة تكون أقرب إلى الغموض والتعقيد. والرأي الفلسفي هو أن هذه النتائج غنية عن البرهان.

«والغني عن البرهان» وضع قام في الأصل عل التماثل بين «الرؤية بالعين» و«الرؤية بالعقل». وسوف نعلم فيما بعد (الفصل ٢ قسم ٧) كيف كان البحث عن المبادىء «الجلية والغنية عن البرهان» عاملاً ساعد على بقاء الاعتقاد بالتماثل بين العين والعقل.

لقد قدمنا المعيار الذي وضعه توماس أكويناس للحقيقة في أسلوب حديث. وقد يكون من المفيد أن نقدم الصيغة الأصلية التي كتبها. يقول:

يمكن أن يستخدم العقل بطريقتين لإثبات نقطة ما: الطريقة الأولى بفرض تقديم برهان كاف لأحد المبادىء، كما في العلوم الطبيعية عندما يمكن تقديم ما يكفي من الأدلة على أن حركة السماء تتم بسرعة منتظمة. ويستخدم العقل بطريقة أخرى، ليس بتقديم البرهان الكافي لمبدأ ما، ولكن لتعزيز مبدأ قائم فعلاً وذلك من خلال تبيان تلاؤم نتائجه، كما في علم التنجيم حيث تعتبر دوائر الاختلاف المركزي وأفلاك التدوير نظرية قائمة لأنها يمكن أن تشرح المظاهر المحسوسة للتحركات السماوية، وليس، على أية حال، باعتبار أن البرهان برهان كاف، بقدر ما قد تكون هناك نظرية أخرى تفسر هذه المظاهر[٢٦].

٨ ـ الفائدة العملية «للحقيقة الفلسفية»

قبل أن نناقش ما إذا كانت هذه المبادىء غنية عن البرهان أم لا، ولماذا نتعلق بهذه المبادىء، فلنتساءل عما هي «الفائدة العلمية» لهذه المبادىء العامة. المفروض أن هذه المبادىء تصف الكون ككل، وتصف بنيته النهائية. ما هي حاجتنا إلى ذلك؟ هل لذلك تأثير على حياتنا؟ وما هو هذا التأثير؟ إننا نعتبر أن

المجتمع البشري هو، على نحو ما، صورة للكون، وأننا نتصرف بطريقة طبيعية عندما نتصرف طبقاً لقوانين الكون. ويعتقد الإنسان أنه عندما يضع صيغة للتركيب العام للكون فإن الناس عموماً سوف يحاكون في حياتهم هذا التركيب بطريقة معينة. وإذا ذهبنا إلى مدرسة الأحد فإننا جميعاً نتشرب في سن مبكرة جداً فكرة واحدة عن التركيب النهائي للكون. فالدين التقليدي هو إحدى النظريات التي قد نعطيها للتركيب النهائي للكون. وقد يفكر المرء ارتجالياً بأن النظريات المادية، مثل نظرية الحركة، ليس لها تأثير كبير على أفعال الانسان كما يعزى إلى الدين التقليدي، ولكن يجدر بنا أن نبحث هذه النظرية من وجهة النظر هذه.

وتختلف القوانين القديمة اختلافاً كبيراً عن قوانين اليوم. فقوانين الحركة للأجسام الأرضية تختلف عن قوانين الحركة للأجسام السماوية. فقد اعتبر أن كل الأجسام الأرضية تميل إلى التحرك نحو هدف معين، فتتحرك الأحجار إلى أسفل، ويتحرك الهواء واللهب إلى أعلى. وقد اعتبر هذا الميل للتحرك نحو هدف معين على أنه من الملامح المميزة لكل الأجسام الأرضية. وقد كان في الظن أن كل الأجسام السماوية تتحرك في مسار دائري دائم. وبعبارة أخرى، فإن قوانين الحركة تتوقف على الجسم. وكان المعتقد أن الأجسام السماوية تتكون من مادة تختلف مادياً عن مادة الأجسام الأرضية، وأنها من مادة رقيقة غير مادية. فالكون قد تكون من مادة معتادة في الأجسام الأرضية، ومادة نبيلة في الأجسام السماوية.

وكان المعتقد بالمثل أن العالم يتكون من أنماط دنيا وأنماط عليا من الكائنات. ومن ثم فقد كانت لنظرية الحركة أهمية كبرى في سائر حياة الإنسان ـ لقد دعمت اعتقاده في تركيب المجتمع في ظل الزعامة الدينية. وقد شجعت الكائنات البشرية على انتهاج السلوك الأخلاقي. وحتى في العصور القديمة كان هناك أناس «أشرار» لا يؤمنون بالفرق بين المواد السماوية والمواد الأرضية ـ أناس زعزعوا هذا الإيمان الذي يجب أن يعتنقه الناس. وقد نصت قوانين أفلاطون على ضرورة الزج بهؤلاء الناس في السجن.

وقد اعتقد كل من كان يسمي نفسه معلماً أو مربياً (وكل من تعلم كان يريد أن يكون معلماً) أن سبل الحياة تتفاوت في أفضليتها، وأن عليهم أن يساندوا النظريات العلمية التي تساند معتقداتهم الأخرى. ومن ثم فقد أثرت هذه المبادىء

العامة على السلوك البشري. فهذه المبادىء «الجلية» كانت، على نحو ما، أكبر فعالية في تأثيرها إذا قورنت بالمبادىء المادية. فالتأثير التقني للعلم على امرىء ما ليس تأثيراً مباشراً بقدر تأثير الأمر الفظ الذي يصدر إليه بشأن ما يجب أن يفعله. ومن ثم فإن أكثر المبادىء تعمياً، وهي المبادىء الجلية، كانت أيضاً مبادىء عملية، إلا أنها، على مستوى مختلف، وعلى نحو ما، كانت عملية أكثر من ذلك. وبتعبير غير منمق، فإن العلم بمعناه المحدد يزودنا بالوسائل التقنية التي نستطيع بها أن ننتج الأسلحة لهزيمة العدو، لكن التفسير الفلسفي للعلم يمكنه أن يوجه الإنسان بحيث يستفيد من السلاح فائدة حقيقية.

ويمكننا أن نوضح هذا الوضع بأن نضرب مثلاً من اليونان القديمة. يناقش أفلاطون في جمهوريته[٢٨] كيف نعلم قادة المجتمع في المستقبل بمنهج يجعل منهم قادة «فاضلين». وقد أثار أحد المشاركين في النقاش سؤالاً عما إذا كان هذا المنهج يشمل علم الفلك، وما هي مبررات وجود مثل هذا الموضوع ضمن منهج التعليم المقترح. وانبرى سقراط (الذي كان يمثل رأي أفلاطون في هذا النقاش) إلى تأكيد رفضه للرأي القائل بأن تدريس علم الفلك ضروري من أجل نتائجه التقنية مما يفيد الزراعة والملاحة. فهذا النوع من المعرفة لا يناسب قائد المستقبل. ومع ذلك، فإذا نظرنا إلى «المبادىء الجلية» التي تفسر حركة الأجرام السماوية، فإنها طبقاً لقوانين اليونان القديمة، تقول بأن الكواكب تحركها كائنات (إلٰهية) تتحرك في مسارات دائرية مثالية (أو كاملة) لأنها كائنات تتصف بالكمال. هذه المبادىء الفلسفية في الفلك لا تفيد كثيراً في الأغراض التقنية، للحساب الحقيقي للمواقع المنظورة على الكرة. إلا أن الإيمان بهذا التفسير الفلسفي يدعم الإيمان بالكائنات الإلٰهية. وهذا الإيمان بدوره يفيد كثيراً في حث المواطنين على السلوك «الفاضل». ويرى أفلاطون أن الفلك، من هذه الزاوية، موضوع هام جداً في تعليم قادة المستقبل.

سوف نحصل على فكرة واضحة جداً عن السلسلة التي تربط العلم بالفلسفة إذا تناولنا مثال الفلك كما تصوره أفلاطون. يشير بيير دوهيم الفيزيائي والفيلسوف والمؤرخ الفرنسي، إلى أن أفلاطون كان يفرق بين مستويات ثلاثة في الفلك: هناك المشاهدات، والفلك الهندسي، والفلك اللاهوتي (أو الفلسفي).

وهي تتخذ مواقعها في سلسلتنا على نفس هذا الترتيب.

ويصف دوهيم تصورات أفلاطون على نحو يفيدنا كثيراً إذا أردنا أن نفهم العلاقة بين العلم والفلسفة في عصر كانا لا يزالان يؤلفان فيه نظاماً فكرياً متلاحماً:

هناك ثلاث درجات للمعرفة. وأدنى الدرجات هي المعرفة بالنظر الحس. وأرفع الدرجات هي المعرفة بالعقل البحت، فهي تتأمل الكائنات الخالدة، وتتأمل، فوق كل شيء، الفضيلة المطلقة.

وهاتان الدرجتان في المعرفة تناظران ما سبق أن سميناهما «الاجماليات المشوشة» و«المبادىء الجلية»، أو«الأشياء التي نراها بأعيننا» و«الأشياء التي نبصرها بعقولنا». ثم يستطرد دوهيم:

وما بين هاتين الدرجتين الأدنى والأرفع في المعرفة نجد نوعاً من الفكر المختلط أو المهجن، وهو الدرجة الوسطى. والمعرفة التي انبثقت عن هذه الدرجة الوسطى هي المعرفة الهندسية. وهناك ثلاث درجات في الفلك تناظر هذه الدرجات الثلاث في المعرفة.

وقد يبدو غريباً أنه ما من شك في أن ما نسميه «بالعلم الحديث» قد نشأ عن هذه الدرجة المختلطة المهجنة في التفكير الذي يميز الدرجة الوسطى في المعرفة. ويستطرد دوهيم:

والإدراك الحسي هو المسؤول عن فلك المشاهدة. ويتتبع هذا النوع من الفلك المنحنيات المعقدة التي تسير فيها النجوم... ومن خلال التفكير الهندسي ينتج العقل علماً للفلك يستطيع أن يضع رسومات دقيقة وعلامات ثابتة. ويحل هذا «الفلك الصحيح» محل المسارات الشاردة التي عزاها فلك المشاهدات إلى النجوم بواسطة مدارات بسيطة ثابتة... فالظاهرات المعقدة والمتغيرة هي ظاهرات زائفة.... ويكشف العقل النقي عن الفلك الثالث الرفيع، الفلك اللاهوتي (الفلسفي).... وهو يرى في التوافق مع الحركات السماوية دليلاً على وجود الأرواح الإلٰهية المتحدة مع الأجرام السماوية[٣٠].

٩ - حـواشي الفصل [١]

١ - إدجار آلان بو (١٨٠٩ - ١٨٤٩)، مؤلف أمريكي للشعر والقصص. وقد اعتبر في كثير من الأحيان أول من أدخل «القصة البوليسية» و«الخيال العلمي» في الأدب.

٢ - والت وليام (١٨١٩ - ١٨٩٢). شاعر أمريكي. نشر عام ١٨٥٥ ديوانه الشعري Leaves of Grass. قـال إن الديمـوقراطيـة هي «الفكرة الأم» في شعـره، وأن «الديمـوقراطيـة تحملك إلى آفـاق أبعـد من السياسة... حتى في الفلسفة واللاهوت.

٣ - تشارلز ساندرز بيرس (١٨٣٩ - ١٩١٤). فيلسوف ومنطقي وعالم أمـريكي. قدم مبـدأ الذرائعيـة في بحث نشـره في ينايـر ١٨٧٨ في Popular Science Monthly ، ويمكن اعتباره مؤسسـاً لهذه المـدرسـة الفلسفية.

٤ - The Monist (١٨٩١) مجلة خاصة بفلسفة العلم.

٥ - أوجست كومت (١٧٩٨ - ١٨٥٧). بدأ كتابه الرئيسي Cours de Philosophie Positive عام ١٨٣٠ وانتهى منه عام ١٨٤٢ ونشره في باريس.

٦ - كتاب Positive Philosophy، تأليف أوجست كومت، ترجمة هارميت مارتينو (نيويورك: أ. بلانشارد ١٨٥٨)، المجلد ٢.

٧ - Philosophy in a New Key، لسوزان ك. لانجر (كمبردج: مطبـوعات جـامعة هـارفارد، ١٩٤٢. أعيدت طباعته في سلسلة Mentor Book عام ١٩٤٨. والمؤلفة فيلسوفة ومنطقية أمريكية.

٨ - Ibid صفحة ١٥ في طبعة Mentor Book.

٩ - Summa Theologica، الجزء ١ السؤال ١٦ عن «الحقيقة»، البند ١. نشرت مؤسسة الكتاب الكبرى جزءاً من الكتاب تحت عنوان On Human Knowledge و On Truth and Falsity.

١٠ - فيلسوف أمريكي على قيد الحياة، وضع أفكاراً مبتكرة عن فلسفة العلم، وخاصة عن العلاقات المتبادلة بين فلسفة العلم والفلسفة السياسية لجماعة معينة.

١١ - The Mecting of East and West، تأليف ف. س. نورثروب، (نيويورك، شركة مكميليان ١٩٤٦). الفصل ١٠.

١٢ ـ أرسطو (٣٨٤ـ ٣٢٢ ق.م.) فيلسوف يوناني. وبعد وفاته بزمن قصير مات الفاتح ورجل الدولة الشهير الاسكندر الأكبر الذي كان تلميذاً لأرسطو، والخطيب الشهير ديموثينس الذي كان العدو اللدود للاسكندر بين اليونانيين. وقد أسيء فهم دوره في العلم كما أسيء تقدير هذا الدور. وعلى سبيل المثال، كتب ويل بيرانت في كتابه The Story of Philosophy عام ١٩٢٦، والذي ربما يكون أحسن ما كتب عن الفلسفة: «ونظراً لافتقاد أرسطو إلى التليسكوب كانت إنجازاته في الفلك... نسيجاً من الرومانسية الطفولية.

١٣ ـ Physics لأرسطو، عن The Works of Aristotle، تحرير و.د. روس (لندن: مطبوعات جامعة أوكسفورد ١٩٠٨ـ ١٩٥٢).

١٤ ـ نفس المكان.

١٥ ـ عاش اسحق نيوتن وعمل حوالى عام ١٧٠٠ (١٦٤٢ ـ ١٧٢٧). قدم قوانين الحركة لنيوتن التي كانت الأساس في فهم كل التغيرات والأحداث في الكون الفيزيائي. ولم يطرأ على هذه القوانين تعديل جذري حتى أوائل القرن العشرين.

١٦ ـ كان جريجور مندل راهباً نمساوياً (١٨٢٢ ـ ١٨٨٤) قد م القوانين الأساسية لعلم الوراثة (نظرية الوراثة). ويمكن من هذه القوانين أن نتنبأ مثلاً بنتيجة تطعيم البسلة الصفراء المستديرة بالبسلة الخضراء المجعدة. وقد نشرت هذه النظرية (نظرية مندل) عام ١٨٦٦.

١٧ ـ ظهرت «الفلسفة السكولاستية» في العصور الوسطى، عندما أدخلت تعديلات على أفكار أرسطو وأفلاطون لكي تتلاءم مع سفر الرؤيا المسيحي. بدأ هذا «التقليد العظيم» يتطور بواسطة سان أوجستين (٣٥٤ ـ ٤٣٠) ووصل إلى ذروته بواسطة سان توماس اكويناس في القرن الثالث عشر، ووصل إلى حالة من التشكيك والمرونة في القرنين الرابع عشر والخامس عشر. وقد مهدت هذه «السكولاستية الراحلة» الطريق إلى عصر العلم الذي بدأ في القرن السادس عشر.

١٨ ـ أطلق اسم «الوضعية» في الأصل على «الفلسفة الوضعية» لاوجوست كومت (انظر الحاشية ٥). وقد قدمت الوضعية بمعنى أحدث وأوسع في كتاب «Positivism, An Essay in Human Understanding» من تأليف ريتشارد فون ميزس وترجمة جيريمي برنشتاين وورودجر نيوتن (كمبريدج: مطبوعات جامعة هارفارد ١٩٥١). وقد نشر الأصل الألماني عام ١٩٣٨.

١٩ ـ أدخل المذهب الذرائعي في نظرية المعرفة عام ١٨٧٨ بواسطة تشالز س. بيرس.

٢٠ ـ تعلم ريشينباخ (١٨٩٣ـ ١٩٥٣) كفيزيائي، وأصبح واحداً من أكفأ وأشهر من بنوا فلسفة العلم في النصف الأول من القرن الحالي. وتدين له نظرية النسبية، ونظرية الكم، ونظرية الاحتمالات بالكتب التي ألفها عن الأسس المنطقية والوضعية والفلسفية لهذه النظريات. ويحتوي كتابه الأخيرة «The Rise of Scientific Philosophy» (بيركلي: مطبوعات جامعة كاليفورنيا عام ١٩٥١) على مسح شامل موجز وشائع تقريباً للوضع الحالي وللخلفية التاريخية لهذه المجالات.

٢١ ـ كان أفلاطون (٤٢٧ ـ ٣٤٧ق.م) واحداً من أعظم فلاسفة اليونان. بدأت نظريته الشهيرة عن المثال من الفرض بأن وراء الظواهر التي تبدو على السطح وندركها بحواسنا، توجد تعميمات، وانتظامات، وإحساسات بالاتجاه (قيم). وبينما ندرك ظواهر السطح بواسطة حواسنا فإننا ندرك المثل (التعميمات والانتظامات والقيم) بواسطة عقلنا وفكرنا. ويرى أفلاطون أن هذه «المثل» أكثر «بقاء» وأقرب إلى «الحقيقة» من الشيء الخاص الذي ندركه بحواسنا.

٢٢ ـ ريشنباخ، .Op. Cit الفصل ٢ صفحة ٢٠.

٢٣ ـ ماسن سان توماس أكويناس بإيطاليا في القرن الثالث عشر (١٢٢٥ ـ ١٢٧٤). وتأسيساً على الفلسفة الأرسطوية، وضع أكويناس نظاماً متماسكاً يتفق مع علم اللاهوت المسيحي. وقد أصبح الفيلسوف الممثل للكنيسة الرومانية الكاثوليكية وعلى النقيض من الفلاسفة السكولاستيين السابقين، حاول أكويناس أن يستنبط وجود الله وصفاته عن طريق العقل دون أن يلجأ إلى الوحي الإلهي. وهو أعظم من يمثل «المذهب العقلي» في الفكر الوسيط (فكر العصور الوسطى).

٢٤ ـ Summa Theologica لسان توماس أكويناس. ترجمة اباء مقاطعة الدومينيكان الانجليزية (نيويورك: الأخوة بنزيجر، ١٩٤٧). الجزء ١، القسم ١٦ الفقرة الثانية، موضوع ١.

٢٥ ـ نفس المكان الجزء ١، السؤال ١، «Knowledge of the Divine Persons»، الفقرة الأولى، الإجابة، الموضوع٢. السبب في أن أكويناس وضع هذا التمييز هو أن يفصل بين البراهين على وجود الله من ناحية، والبراهين على وجود الثالوث المقدس (الأب والابن والروح القدس) من ناحية أخرى. ويرى أكويناس أن وجود الله يمكن أن يستنبط بالعقل البشري، بواسطة تسلسل منطقي من المبادىء التي لا تحتاج إلى تدليل. أما الإيمان بالثالوث المقدس فلا يمكن أن نثبت سوى أن له نتائج معقولة، أما وجود هذا المثلث فلا يمكن إثباته بالعقل وإنما يمكن إثباته فقط بالوحي الإلهي.

٢٦ ـ نفس المكان.

٢٧ ـ في الحوار الثنائي «Laws, the Dialogues of Plato»، الكتاب ١٢ صفحة ٩٦٧، الذي ترجمه بنيامين جويت (نيويورك: أبناء شارلز سكربنر، ١٨٧١)، يعلن أفلاطون أنه إذا كانت الأجرام السماوية «هي أشياء بلا روح وعقل، لما أمكن لها أن تتحرك بهذا الإحكام العددي المدهش». ومن ثم فإن كل من يعلم الناس الطبيعة المادية للشمس والنجوم فهو إنما يدعو إلى الكفر والإلحاد. وفي نفس الحوار يقترح افلاطون أن تكون هناك عقوبة قاسية لمن يكفر.

٢٨ ـ Republic لأفلاطون، الجزء السابع، ٥٢٧ ـ ٥٣٠.

٢٩ ـ بيير دوهيم (١٨٦١ ـ ١٩١٦) فيزيائي فرنسي أصبح واحداً من أشهر مؤرخي العلم وفلاسفته.

٣٠ ـ Système du Monde لبيير دوهيم (باريس: هيلمان وأولاده، ١٩١٣) الجزء ١، الفصل ١٢، القسم ١٣، صفحة ١٠٠ وما يليها.

[٢]
تحطم السلسلة

١ ـ كيف حدث التحطم

يسوق توماس أكويناس مثلاً من علم الفلك[1] يشرح به التمييز بين المعيارين اللذين وضعهما للإيمان. إذا شئنا أن نعرف حركة الأجرام السماوية، فإننا نستطيع أن نستنبط من المبادىء الجلية أنها تتحرك حركة دائرية كاملة ثابتة، لأن الأجرام السماوية كائنات كاملة إلٰهية. ومن الواضح أن الحركة الدائرية الدائمة أقرب إلى الكمال من أي حركة غير دائرية أو حركة غير مضطردة.

والمعروف حتى في العصور القديمة، أن قوانين الحركة المشتقة من المبادىء التي لا تحتاج إلى تدليل، لا يمكنها أن تحدد مواضع الأجسام فوق سطح الكرة تحديداً دقيقاً. ومن ثم فقد وضع علم الفلك نظرية أفلاك التدوير، أو تراكب الحركات الدائرية ذات الأقطار المختلفة، والتي يمكن منها أن نستنبط الحركات المعقدة المشاهدة للأجرام السماوية. وقد أكد توماس أكويناس على أن نظرية أفلاك التدوير لا يمكن استنباطها من المبادىء الغنية عن البرهان. لقد كانت متفقة مع المشاهدات إلا أنها قد تكون زائفة لأنها لم يكن استنباطها من المبادىء الجلية. وقد نشأ تحطم السلسلة التي تربط العلم بالفلسفة من أن المعيار لقبول قاعدة لم يكن هو نفس المعيار عند طرفي سلسلة العلم والفلسفة، أو، بتعبير آخر، خلال محور (العلم ـ الفلسفة) بأكمله.

تحدثنا مرات عديدة عن هذه السلسلة التي تربط العلم والفلسفة، بين المشاهدات المباشرة والمبادىء الجلية ويمكن توضيح هذه النقطة برسم تقريبي:

المبادىء العامة والجلية	الطرف السفلي	الطرف العلوي	المشاهدة المباشرة

الشكل (١)

هذه السلسلة هي ما يسميها المرء «علم + فلسفة». لدينا على طول السلسلة نصوص تختلف في درجات تعميمها. وهناك نصوص للحقيقة عن أحد الطرفين؛ وهناك عند الطرف الآخر مبادىء عامة وهي في حد ذاتها واضحة وجلية. وبين هذه وتلك لدينا نصوص متوسطة التعميم ـ قانون أوم(٢)، قانون نيوتن للجاذبية الأرضية (التثاقل)(٣)، قوانين الديناميكا الكهربائية(٤)، قوانين مندل للوراثة(٥) ـ وهي قوانين ليست جلية بذاتها، ولكنها مفيدة في النظريات.

ومن الواضح أن هذا الاختلاف مرتبط بالمعيار المزدوج للإيمان. فإذا كانت لدينا نصوص متوسطة التعميم ـ مثل قوانين الفيزياء ـ فلماذا الإيمان بـأنها صحيحة؟ ونحن نستخدم في العلوم معيار الحقيقة؛ وهو يتطلب أن نستطيع استنباط حقائق من هذه القوانين وأن تكون هذه الحقائق متفقة مع التجربة. ونقول عندئذ إن القانون قد عززته التجربة. وكما سبق أن ذكرنا، فإن من الخطأ أن نقول إن هذه القوانين المتوسطة التعميم يجري «إثباتها» بالتجربة، أو أن نقول أسوأ من ذلك إنه يمكن «استنباطها من الحقائق». ويمكن للمرء فقط أن يستنبط نصاً من نص أكثر منه تعميماً، ولا يمكنه أن يفعل ذلك من نص أقل منه تعميماً. وعلى سبيل المثال، فمن النص «كل الرجال فانون» يمكننا أن نستنبط أن رجلاً معيناً هو رجل فان؛ ولكننا من معرفتنا بحقيقة أن كل الرجال الذين عرفناهم كانوا رجالاً فانين، فإننا لا يمكنا أن نستنبط من ذلك نصاً يقول «كل الرجال فانون». وقد كان من بين اليونانيين رجل يقول إنه ما من شخص يستطيع أن يثبت له أنه رجل فان.

فطالما هو على قيد الحياة فإنه يرفض أن يصدق أنه رجل فان، وبعد أن يموت فإنه ما من أحد يستطيع أن يثبت له أي شيء. والنص العام هو دائماً من ثمار إحدى مهارات العقل البشري: ويمكن أن نسمي هذه العملية استقراء، أو تخميناً استقرائياً، أو تخيلاً. وهي على أية حال، ليست استنباطاً منطقياً.

ومن ثم، فعلى لسان سان توماس أكويناس، يمكننا أن نصدق نصاً لما يترتب عليه من نتائج. وسوف يزداد تصديقنا للنص كلما زادت النتائج التي تدققه. ولكن، كما يقول أكويناس أيضاً، لا يمكننا إطلاقاً أن نثبت أي نص بهذه الطريقة. ويمكننا أن نستنبط كثيراً من الحقائق سواء من النظام البطليموسي أو من النظام الكوبيرنيكي، وكذلك من النظرية الجسيمية للضوء أو من النظرية الموجبة[٦]. ومن الأمور العملية أن توضع هذه النصوص التي تسمى عندئذ مبادىء أو فروضاً. (ليس هناك فارق بين المبدأ أو الفرض. فعندما نبدأ بوضع الفرض موضع الاهتمام فإننا نسميه قاعدة). ووجهة النظر العلمية في هذا الشأن أن النصوص العامة تثبت أو تعزز فقط بواسطة نتائجها، أما ما تعنيه «جوهرياً» فلا أهمية له. ومن وجهة النظر «العلمية البحتة» هذه يجب على المرء ألا يكون منحازاً إلى رأي معين. ونحن نربط وجهة النظر هذه بالطرف العلمي لسلسلتنا.

و عن الطرف الآخر من السلسلة من رغبتنا الشديدة في أن نعرف «كيف» والعلم لا يجيب عن تساؤلنا «كيف». إنه يجيب فقط عن الاسئلة المتعلقة «بماذا» يحدث، وليس «لماذا» يحدث. وهذه الرغبة في معرفة «لماذا» لا تعدو الرغبة في استنباط نصوص علمية من مبادىء هامة تتصف بأنها معقولة وجلية. وتثبت مثل هذه الرغبة من الإيمان بوجود مثل هذه المبادىء. وبالطبع كانت هناك آراء عديدة بشأن المعايير التي تحدد ما هو الشيء المعقول وما هو الشيء الجلي.

٢ ـ الفلسفة العضوانية والفلسفة الميكانستية

قبل أن نناقش معنى مصطلح «جلي» دعونا نقدم مثالاً تاريخياً لبعض التغيرات التي طرأت على بعض «المبادىء الجلية». وسوف نناقش التغير من الفلسفة العضوانية إلى الفلسفة الميكانستية. إن ذلك يعطينا مثالاً للمبادىء «الجلية» التي حاول المرء أن يستنبط منها مبادىء متوسطة التعميم.

ما هي المبادىء «الجلية» التي استنبطت منها قوانين الميكانيكا في علوم العصور القديمة والوسطى؟ لقد كان المعتقد أن لكل شيء طبيعة معينة، وأنه يتصرف وفقاً لهذه الطبيعة التي كانت تعني غرضاً معيناً ـ فطبيعة الطائر أن يطير، وطبيعة الضفدعة أن تقفز، وطبيعة الطبيب أن يشفي (إذا كنا متفائلين) وطبيعة الحجر أن يسقط إلى أسفل. وطبيعة الدخان أن يتصاعد إلى أعلى، وطبيعة الأجرام السماوية أن تتحرك في مسارات دائرية دائمة. وكل شيء يتصرف طبقاً لطبيعته[٧] ويمكن للمرء، بصفة عامة ودون دخول في التفاصيل أن يستنبط من هذا النص كيف ستتصرف قطعة الحجر. . . إلخ. وبالطبع فإن المرء لن يؤمن أبداً بمبادىء يستطيع الإنسان أن يستنبط منها أي شيء يتناقض تناقضاً فاحشاً مع التجربة. ومع ذلك فإن اتفاق المبدأ مع التجربة لم يكن هو السبب الوحيد الذي يجعلنا نؤمن بهذا المبدأ. ويمكن أن نسمي هذا الرأي «بالرأي العضواني» لأنه يصور كل شيء على أنه يتصرف كما يتصرف الكائن الحي. وكانت الفكرة العامة هي أن الطريقة التي يتصرف بها الكائن الحي كانت طريقة جلية. وقد قال أرسطو إن فهم حركة الحيوان أسهل من فهم حركة الحجر. ونحن نندهش اليوم من مثل هذا النص لأن رأينا هو الرأي المضاد تماماً. وهذا النص هو من النصوص التي يتميز بها الرأي العضواني.

وفي عام ١٦٠٠ (ونحن عادة نؤرخ مولد العلوم الحديثة ابتداء من جاليليو ونيوتن)، نشأت فكرة وجوب إرساء قوانين الحركة على مبادىء جديدة. ويعتبر قانون التصور الذاتي أهم مميزات هذه الفترة، وهو يصور الجسم سائراً «بطبيعته» نحو اللانهاية حيث لا شأن له بذلك، وهذا رأي مضاد تماماً للرأي العضواني. وقد أصبحت قوانين نيوتن في نظر الناس في القرن التاسع عشر جلية ومعقولة بحد ذاتها بعد أن تعود الناس عليها. لقد حلت فكرة دنيا «المكانستية» محل فكرة دنيا «العضوانية» وتعتبر قوانين نيوتن من وجهة النظر هذه أكثر القوانين جلاء ومعقولية[٨]. ويصعب الآن تفسير حركة الحيوانات. إن عجلة الإنسان عند خروجه من قاعة الدراسة أمر يسهل فهمه طبقاً للقواعد العضوانية، بأن نصف الفرض من هذه العجلة ـ لتناول الغذاء على سبيل المثال ـ لكنه من العسير جداً أن نفسر هذه العجلة من وجهة النظر الميكانستية.

لقد كان ورود أول سيارة إلى فيينا منذ أعوام حدثا كبيرا. ومن القصص التي تروى أن ميكانيكياً أخذ يشرح السيارة لأحد الأرشيدوقات الذي ظل يصغي إليه باهتمام كبير، وعندما انتهى الميكانيكي من شرحه قال الأرشيدوق إن هناك شيئاً واحداً لم يفهمه، وهو أين الحصان؟ إنه بتقاليد العضوانية، لم يستطع أن يفهم أن هناك شيئاً سوى الكائن الحي يمكن أن تنتج عنه قوة. ومن ناحية أخرى، هناك قصة صبي من مدينة نيويورك في القرن العشرين لم يسبق له أن رأى حصاناً - ويجب أن نفترض أنه بسبب ما لم يشهد سباقاً للخيل، فإنه حتى في عصر الميكنة هذا يبدو أن الحصان يجد هذا الفرض الذي يستخدم فيه. ولك أن تتصور دهشة الصبي عندما ذهب إلى الريف لأول مرة وشهد حصاناً يجر ثقلاً. فقد بادر فوراً يسأل: بتقاليد المكانستية - أين المحرك؟

٣ - كيف ولد العلم بالمعنى الحديث

كتب أ. ن. هوايتهد، أحد عظماء فلاسفة القرن العشرين، يقول:

في كل مكان على وجه الأرض، وفي كل زمان، كان هناك رجال عمليون، يستغرقون في حقائق عنيدة لا يمكن انتقاصها؛ وفي كل مكان على وجه الأرض وفي كل زمان، كان هناك رجال ذوو نزعة فلسفية يستغرقون في نسج المبادىء الهامة[٩].

وفي العصور القديمة والوسطى كان التعاون ضئيلاً بين هذين النمطين من الرجال. وقد أكد هوايتهد على أن العلم بالمعنى الحديث قد ولد عندما بدأ مثل هذا التعاون، وعندما توافر الاهتمام بكل من الحقائق والأفكار لدى نفس الشخص. «إن اتحاد الاهتمام الحماسي بالحقائق التفصيلية مع المحبة الشديدة للتعميم المجرد، يخلق الابتداع في مجتمعنا الراهن»[١٠].

ويصف وليام جيمس[١١] هذين النمطين من الشخصيات في محاضراته عن المذهب العملي (pragmatism) (فلسفة الذرائع). إنه يسميها «ذوي العقول الرقيقة» و«ذوي العقول الصلبة المراس»[١٢]. فقد كان الاهتمام المطلق بالحقائق الجامدة يبدو له علامة على «صلابة» الخلق.

وقد افترض هوايتهد أن التعاون بين هذين النمطين كان من المتعذر وجوده

قبل مولد «مجتمعنا الراهن». وفي مجتمع اليونانيين القدامى كان «الفلاسفة» و«العلماء» المهتمون بالمبادىء العامة ينتمون إلى طبقة اجتماعية أعلى من الطبقة التي ينتمي إليها هؤلاء المهتمون «بالحقائق الجامدة» للتطبيقات التقنية، هم الصناع والحرفيون، وهؤلاء ينتمون إلى طبقة أدنى ولا يفهمون الأفكار العامة. ونحن نعلم أن اليونانيين والرومانيين القدامى قد كان لهم دور رائع في فن البناء، بل وفي بعض مجالات الهندسة الميكانيكية، إلا أن معارف هؤلاء البنائين والمهندسين القدامى لم تكن «فلسفية» أو «علمية»؛ إنها كانت معارف تكنولوجية بحتة. إن معارفهم لم تكن مستمدة من الفيزياء العضوانية لأرسطو.

ويتصدى أحد أساتذة الهندسة التطبيقية في روما المعاصرة إلى وصف التباين بين تناول المعرفة التقنية قديماً وحديثاً بقوله:

> **إن ما تحققه العلوم الحديثة والصناعة باختبارات معامل الأبحاث، وبالفروض النظرية المصاغة في معادلات... قد تحقق لعلوم العصور القديمة صناعتها بانتقال المعرفة التقنية، وبالصيغ الاختبارية (الوضعية) التي كانت تحفظ بحرص شديد ويتم تداولها في قالب رمزي غامض[١٣].**

ويمكننا أن نقول إن المراتب «الأدنى» كانت تجمع الحقائق، بينما كانت المراتب «الأعلى» تضع المبادىء. وكانت العادات الاجتماعية لا تشجع الاتصال بين نمطي المعرفة. وإذا حاول إنسان ذو مكانة اجتماعية عالية أن يطبق «الفلسفة» أو «العلم» على إحدى المشاكل التقنية فإنه كان يواجه بنقد مرير. أما الاختبار العملي للمبادىء العامة فقد كان يتطلب عملاً يدوياً، وكان العمل اليدوي في نظر اليونانيين القدامى شيئاً يلائم العبيد ولا يليق بالرجال الأحرار.

ويمكننا أن نفهم هذا الوضع إذا قرأنا دفاع أرسطو عن مؤسسة العبيد كما جاء في كتابه عن السياسة. فهو يقارن بين تحكم السيد في العبد وتحكم العقل في الجسد فيقول:

> **كما أننا لا يمكننا أن نشك في أنه من الطبيعي والملائم للجسد أن تحكمه الروح، وللجانب العاطفي من الروح أن يحكمه العقل أو الجزء الذي يكمن فيه الرشد، وإذا سوينا بين الاثنين فإن النتائج لن تضر بأي منهما.**

ويستنبط أرسطو من هذ الملاحظة العلاقة المناسبة بين الإنسان والحيوان،

والعلاقة المناسبة بين الذكر والأنثى. ويستطرد أرسطو قائلاً «ويجب أن يكون نفس قانون التبعية سارياً بالنسبة للكائنات البشرية بوجه عام». وطبقاً لما يقول:

> هناك طبقتان من الناس، وإحدى هاتين الطبقتين متخلفة تخلفاً كبيراً عن الأخرى مثل تخلف الجسد عن الروح أو تخلف البهيم عن الإنسان.... وهؤلاء الناس عبيد طبيعيون والخضوع الذليل شيء يصلح لهم... ومبلغ العبد الطبيعي من العقل هو أن يفهم (الصواب) دون أن يكون هو حائزاً عليه. والعبد في هذا يختلف عن الحيوانات الأخرى إذ انها لا تفهم الصواب ولا تخضع له[١٥].

وقد اعتبر العبد كائناً غير قادر على استيعاب الأفكار العامة، ولكنه يفهم فقط ما يؤمر به للتصرف في حالات خاصة. وهذا هو الفارق الصحيح بين «الفيلسوف ـ العالم» وبين الحرفي. فطبقاً لرأي اليونانيين القدامى لا يشتمل النوع الأخير من الناس على الصناع فقط ولكنه يشتمل أيضاً على ما نسميهم «فنانين» ـ الرسامين والنحاتين والموسيقيين.

ويمكننا أن نرى مدى ازدراء الذهن اليوناني بالعمل اليدوي عندما نقرأ سيرة رجل الدولة الاثيني العظيم بيريكليس[١٧] التي كتبها بلوتارك[١٦] ونحن نعتبر اليوم أن ازدهار الفنون كان الجانب المتألق «للعصر البيريكليسي»، لكن بلوتارك كتب يقول:

> إن الإعجاب بالشيء لا يقود دائماً إلى تقليده بل على العكس، فإننا بينما نكون مفتونين بالعمل فإننا غالباً ما نزدري صاحبه. ومن ثم فإننا بينما نبتهج بالعطور وباللون البنفسجي، فإننا ننظر إلى صناع العطور والصباغين على أنهم ميكانيكيون دنيئون... وإذا أسلم الإنسان نفسه إلى الوظائف الذليلة والميكانيكية، فإن اشتغاله بهذه الأمور يكون دليلاً على أنه لم يتنبه إلى الدراسات الراقية. فما من شاب رفيع المولد يتمنى أن يكون فيدياس (النحات) عندما يرى تمثال جوبيتر في بيزا... أو يتمنى أن يكون أناكريون أو فيليتاس رغم إعجابه بشعرهما. فبالرغم من أن العمل قد يكون جيداً، فإن احترام صاحبه لن يكون نتيجة ضرورية لذلك.

ونحن نرى أن الفنانين الذين صنعوا مجد اليونان الخالد، من أمثال فيدياس[١٨] وأناكريون[١٩] قد باءوا باحتقار معاصريهم لأنهم لم ينقطعوا إلى «الدراسات الراقية» ونعني بها السياسة والفلسفة.

وقد جرى تقييم مماثل في مجال العلم. فقد اعتبرت الرياضيات البحتة مجهوداً عقلانياً ينتمي إلى الدراسات «الراقية» أو «المتحررة» بينما كان تفسير الهندسة بنماذج ميكانيكية أمر يدعو إلى الازدراء. وقد كتب بلوتارك خلال ما كتب في سيرة الجنرال الروماني مارشيللوس(٢٠)، أن العالم اليوناني أرشميدس(٢١) قد أسهم بأجهزته الميكانيكية في الدفاع عن بلدته التي ولد فيها سيراكيسو، ضد الرومان الغزاة(٢٢)، لكن بلوتارك كتب يقول: إن أرشميدس «لم يكن يرى أن اختراع الآلات لأغراض عسكرية هو أمر يستحق دراساته الجادة».

وقد وجه الفيلسوف الكبير أفلاطون نقداً شديداً إلى هؤلاء العلماء الذين عززوا نظريات الميكانيكا البحتة أو الرياضيات البحتة باختبارات مفردة. ويقول بلوتارك، «لقد عيرهم أفلاطون ساخطاً عليهم سخطاً كبيراً لأنهم أفسدوا الهندسة وحقروا من تميزها بأن جعلوها تهبط من شيء عقلاني وغير مادي إلى شيء «مادي ومحسوس». وكل من استخدم الأدوات الميكانيكية في الهندسة كان عليه أن «يستخدم المادة»، وهذه تحتاج إلى كثير من العمل اليدوي، وهي موضوع العمل الحقير»(٢٣).

ويتضح لنا من هذا النص أن اليونانيين القدامى كانوا يعتبرون الأبحاث التجريبية في الميكانيكا والفيزياء عملاً يحط من قدر الرجل الحر ويحول بينه وبين متابعة «الدراسات الراقية» والسياسة، ويمكننا الآن أن نفهم أن:

> **إن الوحدة [الوثيقة] بين الأبحاث في الأفكار العامة وتسجيل الحقائق الجامدة لم يكن من الممكن أن تتم قبل أن تزداد مكانة العمل الصناعي والإنجاز التقني زيادة كبيرة. وقد حدث ذلك بعد عام ١٦٠٠ عندما تألفت من الحرفيين والصناع في كل أنحاء أوروبا (ايطاليا وفرنسا والمانيا) طبقة اجتماعية في المدن الكبيرة، وكانوا يعتبرون أنفسهم على قدم المساواة مع ملاك الأراضي وموظفيهم من المحامين والكتبة(٢٤).**

تألف «العلم الجديد» أو «الفلسفة الجديدة» من (رابطة) من الأفكار العامة، والاستنتاجات المنطقية، والفحص التجريبي. ويقول هوايتهد، «أصبح هذا التوازن للعقل الآن جزءاً من التقليد الذي تنتقل عدواه إلى الفكر المهذب». ويبين هوايتهد أن هذا النمط الجديد من الفكر قد أصبح الأساس في التعليم والتربية

الغربية.

إنه الملح الذي يجعل الحياة حلوة. والمهمة الرئيسية للجامعات هي أن تنقل هذا التقليد باعتباره ميراثاً واسع الانتشار تتوارثه الأجيال جيلاً عن جيل. وطالما أن الطفل يولد في لفافته، فقد يكون من المشكوك فيه ان يسفر هذا التحرك عن نتيجة ضخمة مثل هذه.

٤ ـ العلم كجزء من الفلسفة

سنحاول الآن أن نفهم لماذا تحطمت سلسلة «العلم ـ الفلسفة». ففي العصور القديمة والعصور الوسطى لم يكن هناك تدقيق شديد في مراجعة القواعد العامة على ضوء الحقائق المشاهدة. وفي العادة لم تستنبط من المبادىء الجلية سوى نتائج غاية في الغموض. ومع ذلك فقد رأينا أن قدامى الرومان واليونانيين قد أقاموا بنيات هامة جداً تأسيساً على الحرفية المتناقلة من جيل إلى جيل دون وجود نظرية تذكر. لقد استعملوا ما نسميه الآن «المعرفة العلمية» أو «الخبرة التقنية» (Hnow- how). ولا يمكن أن تستنبط مثل هذه «المعرفة العملية» التقنية مما نسميه علماً أو فلسفة. فالتطبيق العملي للعلم إنما تكفله بالكامل تقاليد الحرفية. ولم يكن هذا التطبيق أمراً يحتاج إليه العلم.

ومنذ عام ١٦٠٠، أصبح العلم أكثر وأوسع طموحاً. لقد أراد العلم أن يستنبط الميكانيكا العملية من الميكانيكا النظرية. وعندئذ انفصمت السلسلة عند منتصفها. لقد أمكن استنباط الحقائق المشهودة من المبادىء المتوسطة التعميم، أي قوانين الفيزياء. ولم يعد «العلماء» يهتمون بما إذا كانت قوانين الفيزياء يمكن أن تستنبط من المبادىء الأكثر تعمياً. وأعظم مثل في التاريخ هو فشل نظرية الدوائر المتحدة المركز في تفسير مواضع الكواكب في السماء، الأمر الذي أدى إلى ايجاد النظرية «الكئيبة» عن أفلاك التدوير، وهذه النظرية لا يمكن استنباطها من المبادىء العامة. وقد أسفر تحطم السلسلة عن وجود العلم بمعناه الحديث كجزء من السلسلة القديمة «العلم ـ الفلسفة». لقد أصبح الإنسان يعلم أن النصوص المشتقة من القواعد الجلية والجميلة لا تفسر الحقائق المشهودة إلا على نحو شديد الغموض. والاتحاد بين العلم والفلسفة لم يكن ممكناً إلا في خلال فترة انفصال العلم عن التكنولوجيا. وقد ولد العلم الحديث عندما أصبحت التكنولوجيا علمية. فالاتحاد

بين العلم والتكنولوجيا هو المسؤول عن انفصال العلم عن الفلسفة.

ومن الإسراف في المغالاة أن نقول إن طلاب العلم في العصور القديمة والوسطى كانوا يؤمنون فقط بالاستنباط من القواعد العامة ولا يؤمنون على الإطلاق بما يتفق والتجربة العملية. ومن الاخلاص أن نقول إن كل امرىء كان يؤمن بالأمرين معاً. وفي أواخر العصور الوسطى نشأت الحركة الفلسفية التي كانت تمثل الانتقال من الفكر الوسيط إلى الفكر الحديث. وقد أكدت هذه الحركة على الدور الحاسم للتجربة في العلم وقللت إلى حد ما من أهمية دور البرهان المنطقي. وقد دعت الحركة الجديدة إلى تخلخل في المعيارين اللذين وضعهما توماس أكويناس للحقيقة، عندما ركزت على أهمية «المعيار العلمي» للحقيقة. ويقول روجر باكون أحد كتاب القرن الثالث عشر وأحد أسلاف هذه الحركة[٢٧]:

> **هناك طريقان لاكتساب المعرفة، طريق البرهان وطريق التجربة..... فالبرهان ينتهي إلى استنتاج ويجعلنا نتفق معه. غير أن البرهان لا يقضي على الشك على نحو فعال بحيث يهدأ العقل متبصراً في الحقيقة إلى أن تكتشف هذه الحقيقة عن طريق التجربة**[٢٨].

وفي العلوم الحديثة ـ والمفترض أنها علوم واقعية جداً ـ لا يمكن لنظرية أن تدقق جميع الحقائق. إننا نقبل بعض القواعد العامة التي تبدو معقولة ثم نحاول أن نستنبط الحقائق على خير وجه ممكن. وقد يبدو من اللطيف أن نقول إننا نبذنا نظرية ما لأنها اختلفت مرة مع الحقائق، ولكن أحداً لن يفعل ذلك قبل أن توجد نظرية جديدة. ومن الأمثلة الجيدة على ذلك فشل علماء القرن الثامن عشر في نبذ نظرية الفلوجستون أو اللاهوب (وهي مادة كميائية وهمية كان من المعتقد قبل اكتشاف الاكسجين انها أساسية في تركيب الأجسام الملتهبة)؛ وعندما وجد أن إحدى الحقائق لا تتفق مع النتائج المستخلصة من هذه النظرية. فعندما يسخن معدن نقي، مثل القصدير، في الهواء، فإن المعدن يصبح مادة أرضية تسمى «الكلس» (calx) والعملية نفسها تسمى «التكليس» وقد فسرت هذه الظاهرة بأن المعدن النقي اللامع عندما يسخن في الهواء فإنه يطرد مادة تسمى اللاهوب أو الفلوجستين (وهي كلمة يونانية معناها مادة الحرارة). ويفقد المعدن لمعانه عندما يفقد هذه المادة. وبما أن عملية التكليس تنطوي على انفصال الفلوجستين من

المعدن، فإن المفروض أن يقل وزن الكلس عن وزن المعدن، إلا أن الواقع هو عكس ذلك. «وقد عرف في القرن الثامن عشر أن الكلس يزن أكثر من المعدن، إلا أن هذه الحقيقة لم تكن قاضية على نظرية الفلوجستين». وبعد أن سجل هذا الأمر واقعاً، كتب جيمس بريانت كونانت[٢٩] يقول:

> **هناك نقطة هامة. هل يدل ذلك على غباء الفلاسفة العمليين في تلك الأيام؟ كلا على الإطلاق، وإنما يوضح ذلك أنه في الأمور المعقدة للعلم يهتم بمحاولة تفسير مجموعة منوعة من الحقائق وبأن يضع تلك الحقائق متلاحمة في خطة مفاهيمية؛ والحقيقة الواحدة في حد ذاتها ليست بقادرة على تحطيم الخطة. ولا تنبذ الخطة المفاهيمية إطلاقاً لأن قليلاً من الحقائق العنيدة لا تتفق معها. فالخطة المفاهيمية إما أن تعدل أو تستبدل بها خطة أفضل منها. ولكنها لا تهجر دون أن تحل محلها خطة أخرى[٣٠].**

وإذا اكتشفت حقيقة معينة متناقضة مع إحدى النتائج المستخلصة من نظرية أو من خطة مفاهيمية، فإن الشيء الوحيد الذي يمكن أن نعلمه على وجه التأكيد هو «أن هناك خطأ ما» في النظرية، ولكننا لا نعرف هذا الخطأ على وجه التحديد. فالنظرية تتألف من عدد كبير من النصوص التي قد تكون متشابكة على نحو معقد. والحقيقة التي جد اكتشافها لا تنبئنا عن أي من هذه النصوص هو الزائف. وبالأسلوب المعتاد للعالم سوف نقول إن «النظرية قد فندتها الحقائق إذا كان علينا أن نسقط «نصوصها الأساسية». فما هو إذن المعيار الذي نتخذه أساساً للتمييز بين الأجزاء الأساسية والأجزاء العرضية في النظرية؟ نحن نعلم من الفصل [١] قسم ٣ أن «الجزء الرئيسي في النظرية» يعني في الواقع أنه «أساسي لفرض معين في النظرية». ومن ثم فإننا لا نستطيع القول بأن حقيقة معينة تدحض نظرية معينة، ولكن يمكننا القول بأن هذه الحقيقة متناقضة مع غرض معين من أغراض هذه النظرية. ولنا حرية تعديل النصوص غير الأساسية لهذا الغرض ومن ثم نحقق الاتفاق مع النظرية الجديدة.

وسوف نناقش بعض الأمثلة لهذا الوضع فيما بعد، لكننا يمكننا أن نفهمه بمقارنة إحدى النظريات بالرسم الميكانيكي لإحدى الطائرات. إذا بدأت الطائرة تفقد قدرتها على الارتفاع فيمكننا فقط أن نستنتج أن هناك «خطأ ما». وقد يكون هذا الخطأ في أي جزء من الرسم الميكانيكي، أو قد يكون في نوعية الوقود، أو غير

ذلك. ولا يمكننا أن نستنتج أن «الرسم الميكانيكي خطأ»؛ فربما يمكننا الحصول على رسم ميكانيكي لطائرة ذات صفات ممتازة في الطيران إذا أجرينا تعديلاً طفيفاً في الرسم. ويمكننا عندئذ أن نتساءل عما إذا كانت التعديلات المطلوبة هي تعديلات «أساسية» أو غير أساسية. وقد عرفنا على أية حال أن صفة «أساسي» ترجع دائماً إلى غرض معين. وفشل الطائرة في أن تؤدي حركة متوقعة لا «يثبت» أن الرسم الميكانيكي يجب نبذه.

ذكر الكثير عن «التجربة الحاسمة» التي تقرر ما إذا كان علينا أن ننبذ نظرية معينة أم لا. ولا يمكن لتجربة واحدة أن تفند «نظرية» إلا إذا كانت «النظرية» تعنى مجموعة من نصوص معينة لا تقبل التعديل. إلا أن ما تعودنا أن نسميه «نظرية» في العلم لا يكون أبداً على شكل مثل هذه المجموعة. فإذا تحدثنا عن «نظرية الأثير» أو «النظرية الجسيمية» للضوء، أو عن «نظرية التطور» في البيولوجيا، فإن كلاً من هذه الأسماء يغطي عدداً كبيراً منوعاً من هذه المجموعات. ومن ثم فإنه لا يمكن تفنيد أي من هذه النظريات بتجربة حاسمة. ومن الأمثلة الشهيرة على ذلك لدينا «التجربة الحاسمة» التي عرضها أراجو[٣١] عام ١٨٥٠ لاختبار النظرية الجسيمية للضوء. لقد فندت هذه النظرية عام ١٨٥٥. إلا أن أينشتاين[٣٢] قد استخدمها عام ١٩٠٥ في قالب معدل كثيراً يعرف بفرض «الكم الضوئي» أو «الفوتون».

ويقول بيير دو هيم في كتابه «La Théorie Physique, son Objet et sa Struture»: «إن التجربة الحاسمة في الفيزياء أمر مستحيل»[٣٣]. والواقع أن دوهيم قد ناقش على سبيل المثال تجربة أراجو التي كان المقصود منها اتخاذ قرار حاسم بين النظرية الجسيمية والنظرية الموجبة للضوء، وقد أوضح دوهيم أنه لا يمكن إثبات عدم وجود احتمال ثالث اضافة لهاتين النظريتين. وفي نفس عام ١٩٠٥ الذي كتب فيه دوهيم هذه الملاحظة، اكتشف أينشتاين (أو ربما «اخترع») هذا الاحتمال الثالث، وهو نظرية الكم الضوئي[٣٤].

ومن ناحية أخرى، فإنه لا يمكن قبول نظرية جديدة ما لم تكن تحمل قدراً معيناً من البساطة والجمال. ولهذين المعيارين صلة أكيدة بالطرف الفلسفي من سلسلتنا. ولما كان هذان المعياران لا يتوافقان أحدهما مع الآخر توافقاً جيداً في بعض الحالات فقد أدى ذلك إلى تولد فكرة أن العلم والفلسفة هما مجالان من

مجالات المعرفة مختلفان تمام الاختلاف. ويعتقد البعض أن أياً منها لن يتحدى الآخر، وأنه يجب أن يكون كل منهما مجالاً مستقلاً في موضوعه. كانت حالة الفصل هذه هي السائدة في الصلة بين العلم والفلسفة في المناهج الجامعيـة خلال القرن التاسع عشر والنصف الأول من القرن العشرين. ولا يزال هذا هو الاتجاه النموذجي في مؤسساتنا للتعليم العالي. ومن ناحية أخرى، فسوف نرى أن محاولات جادة قد بذلت لاستعادة الوحدة بمزيد من المفهوم العلمي المتحرر.

٥ ـ كيف يمكن «للعلم» أن يصبح «فلسفة»

عرفنا أن محور «العلم ـ الفلسفة» قد تحطم لأن المبادىء الجلية والمعقولة ـ التي تحدد التركيب النهائي للكون على نحو ما ـ لم تقدم نتائج عملية في مجال الحقائق المشهودة والتطبيقات التقنية. وعندما أقيم العلم الميكانيكي لجاليليو ونيوتن، لم يدرس المرء ما إذا كانت هذه القوانين «جلية». وفيما بعد، عندما ظهر أن هذه القوانين تخدم التقنية على نحو جيد، تزايد النظر إليها على اعتبار أنها مبادىء «جلية» أو «فلسفية». وقد مرت هذه العلوم الميكانيكية بثلاث مراحل. ففي المرحلة الأولى قبلت القوانين لأنها كانت متفقة مع الحقائق المشهودة، إلا أنها اعتبرت قوانين وصفية بحتة لأنه لم يكن استنباطها من المبادىء الجلية التي كانت في ذلك الوقت قواعد عضوانية. وفي المرحلة الثانية اشتهرت القوانين الميكانيكية بأنها في حد ذاتها جلية غنية عن البرهان. وعلى أية حال فقد ظهرت في القرن العشرين نظريات فيزيائية جديدة رئي أنها تقدم الحقائق المشهودة على نحو أفضل مما تفعله المبادىء الميكانيكية. وفي هذه المرحلة الثالثة، لا تزال المبادىء الميكانيكية تعتبر مبادىء جلية وإن لم تعد بعد مبادىء علمية. ويقول الناس الآن ان النظريات الجديدة ـ ميكانيكا الكم، والنسبية ـ إنما تقبل لأنها نظريات عملية (وفي عبارة أخرى، يمكننا أن نبني أجهزة جديدة مثل القنبلة الذرية التي لم يكن ممكناً أن نبنيها من قبل)، إلا أنها ليست نظريات جلية.

ومن ثم فقد يبدو من الدراسة التاريخية أنه من الأسلم أن نقول إنه ليس هناك فرق أساسي بين المبادىء الجلية، ونصوص العلم التي يمكن استنباط الحقائق المشهودة منها. ومن المحتمل بعد مائة عام، أن تعتبر معادلة أينشتاين $E=mc^2$ نصاً

غنياً عن البرهان. ومع ذلك فإن الفصل بين العلم والفلسفة يعتمد على هذا التمييز بين نصوص لأنها جلية وأخرى لأنها مجرد عملية. فمن الحركة المستديمة في مسارات دائرية متحدة المركز، إلى النظام البطليموسي لأفلاك التدوير، إلى النظام الكوبيرنيكي، إلى هجر الحركة الدائرية هجراً كلياً إلى مفهوم المدارات الاهليجية، كان على الناس أن يتقبلوا هذه النظريات المتتابعة لأنها كانت تقدم نتائج عملية حتى ولو كان ذلك يعني سقوط مبادئهم الجلية. وسوف نسوق بعض الأمثلة الآن لكي نوضح هذه الملاحظة العامة.

عندما قدم كوبيرنيكوس نظرية الشمسية المركز ووجه بالمعارضة من قبل المدافعين عن علم اللاهوت التقليدي والفلسفة التقليدية، وأيضاً من قبل المؤلفين الذين كانوا يؤمنون إيماناً كبيراً بالمذهب التجريبي في العلم (empiricism) وقد ذهب فرانسيس بيكون[٣٥] إلى تسمية كوبيرنيكوس بأنه رجل «لا يفكر في أن يمزج الطبيعة بأي نوع من الخيال طالما أن حساباته تكون صحيحة»[٣٦]. وهذا يعني، بعبارة أخرى، أن كوبيرنيكوس قد طبق المعيار العلمي فقط «للحقيقة»، وأنه تجاهل «المعيار الفلسفي» (الفصل ١، القسم ٧). وقد سمى بيكون النظام الكوبيرنكلي «خيالاً»، بينما اعتبر النظام المركزيارضي (geocentric) فرضاً أو نظرية. ولا يزال التمييز بين «الخيال» و«النظرية» قائماً اليوم من قبل قلائل من العلماء والفلاسفة[٣٧]. وكثيراً ما توصف نظرية النسبية لأينشتاين بأنها «خيال» بينما تعتبر ميكانيكا نيوتن «نظرية» فما هو الفرق؟ إذا تبعنا طريقة بيكون في التعبير، فإن «الخيال» هو نظام أو مجموعة من النصوص يمكن أن تستنبط منها الحقائق المشهودة بالتبرير الرياضي، ولكن النصوص التي تؤلف «الخيال» ليست جلية أو معقولة في حد ذاتها. فهي لا يمكن أن تفهم بالتناظر مع الخبرات اليومية. وهؤلاء المؤلفون الذين يدفعون النظريات الفيزيائية للقرن العشرين «بالخيال» إنما يعنون بهذه الكلمة نفس ما كان يعنيه بيكون. وسوف نرى، في الفصل [٤]، الأسباب المحددة التي دعت بيكون ومعاصريه إلى نعت النظرية الكوبيرنيكية بأنها «غير معقولة أوغيرجلية».

تفوقت نظرية كوبيرنيكوس على نظرية بطليموس تفوقاً تقنياً لا ينكر. وقد اعترفت به الكنيسة. وكان الاعتراف بهذا التفوق يتزايد كلما تزايد تقدم الخبرة

الفلكية والنظرية. وقد أصبحت الشمس في الميكانيكا النيوتونية هي النظام المرجع الذي تطبق قوانين الحركة بالنسبة إليه. ولم يكن هذا هو الحال بالنسبة للأرض. ولم يكن هناك شك عندئذ في تفوق الشمس كنظام مرجع، إلا أنه عندما عرف دور الشمس رئي أنه من «المعقول» و«الجلي» أن الشمس لا بد أن تكون «ساكنة» في موضعها. لقد رئي عندئذ أنه «من غير المحتمل» أن الشمس الضخمة مع كل النجوم الثابتة، وهي النظام المرجع الأساس، تدور جميعاً حول أرضنا الصغيرة المتواضعة. وتطور النظام الكوبيرنيكي من نظام «مفيد من الناحية التقنية» إلى نظرية «جلية» أو «صحيحة من الناحية الفلسفية».

وعلى أية حال، فإن النظرية إذا كانت جلية في حد ذاتها فإنها تكون صحيحة على الدوام. وإذا لم تكن صحتها بسبب نتائجها المشهودة بل بسبب «ضوئها الذاتي» فإن اعتقادنا بصحتها لن يتغير بتأثير أي مزيد من التجارب. وعندما وضع أينشتاين نظريته العامة عن النسبية في القرن العشرين، اتضح أن كل نظم المراجع مقبولة على حد سواء، وأن تفوق الشمس كائن في حيز محدود من الكون. أما الاعتقاد بأن النظرية الكوبيرنيكية نظرية «جلية» في حد ذاتها فقد اتضح أنه كان وهماً.

وبطريقة مماثلة طرأت تغيرات جذرية على الاتجاه نحو قوانين الحركة لنيوتن. فقد ارتكزت نظريته للحركة السيارة على عمادين، هما قانون القصور الذاتي وقانون الجاذبية. ولم يجد معاصرو نيوتن أن أياً من هذين الفرضين يبدو «جلياً» أو حتى «معقولاً». ومع ذلك فإن النتائج الرياضية المشتقة من هذه القوانين كانت متوافقة توافقاً ممتازاً مع كل المشاهدات المعروفة عن الحركة السيارة، بما في ذلك الاضطرابات المتبادلة. لقد قبلت نظرية نيوتن بسبب تفوقها التقني «كحقيقة» علمية، ولكنها في الأصل لم تستحوذ على الاعتراف بها «كحقيقة فلسفية». فقد كان كبار العلماء في عصر نيوتن، من أمثال هيجنز وليبنز يحجمون عن قبول المبادىء غير «الجلية»[٣٨].

كان ليبنيز يرى أن قانوني القصور الذاتي والجاذبية كانا «خيالاً»، مثلما كان بيكون يرى بالنسبة للنظام الكوبيرنيكي، وقد اعتبر نيوتن (وكذلك كوبيرنيكوس) رجلاً يقبل أي خيال بشرط أن يؤدي إلى نتائج تتفق مع التجربة، وذلك من خلال

البرهان الرياضي.

وقد شرح نيوتن آراءه في خطاب وجهه إلى ليبنيز على صفحات إحدى الجرائد:

> **إن فهم حركات الكواكب تحت تأثير جاذبية الثقل دون معرفة بسبب هذه الجاذبية هو تقدم جيد في الفلسفة يعادل التقدم الذي يمثله فهم إطار عمل الساعة واعتماد كل ترس على الآخر دون معرفة سبب جاذبية الثقل[٣٩].**

اعتبر نيوتن نظريته عن الجاذبية مناظرة لوصف الآلية التي تبقي الكواكب مستمرة في حركتها. إنه يوافق على أنه إذا أمكن استنباط قانونية في القصور الذاتي والجاذبية من مبدأ جلي فإن ذلك سوف يخدم التقدم في الوعي، ولكنه يفضل أن يلزم نفسه بما نسميه بالمفهوم «العلمي البحت» وبأن يتخلى عن البحث عن المبادىء الجلية. وقد بدأ من المبادىء ذات «التعميم الفوري». إن تصريحه المشهور «hypotheses non fingo» (أنا لا أضع الفروض) يعني بعبارة أخرى «أنني أقيد نفسي بالخيال ولا يعنيني المبادىء الجلية». لقد كان يسعى على وجه التأكيد إلى «الحقيقة العلمية» وليس إلى «الحقيقة الفلسفية».

ومع ذلك فإنه بعد النجاح التقني الكبير الذي حققته قوانين نيوتن ومنذ بداية القرن التاسع عشر، تزايد الاعتقاد في أن قوانين نيوتن هي نفسها قوانين جلية. وعقد المتناظرون بين قانون القصور الذاتي وبين الخبرة الشخصية في البلادة، وفي نهاية الأمر اعتبرت قوانين نيوتن «مبادىء جلية». وعندما وصلت القوانين إلى هذا الوضع لم تعد بحاجة إلى مزيد من البحث التجريبي. وأعلن عن أنها نصوص غنية عن البرهان وتصلح للتطبيق في أي نظام فيزيائي يستجد في المستقبل.

أصبحت النظرية العلمية لنيوتن بهذه الطريقة «نظاماً فلسفياً». ومنذ ذلك الوقت كانت أية محاولة لتعديل قوانين نيوتن تعتبر نقضاً للقواعد الغنية عن البرهان. وأصبحت الفيزياء الميكانيكية فلسفة ميكانيكية. وكل نظرية فيزيائية جديدة تتعارض مع الفيزياء النيوتونية تعتبر شيئاً «سخيفاً». وسوف نرى عواقب هذا الاتجاه بالنسبة للأحجام عن قبول مفاهيم القرن العشرين مثل نظرية النسبية ونظرية الكم.

٦ ـ العلم التأملي والميتافيزياء

يختلف أسلوب صياغة القواعد العلمية عنه عند صياغة المشاهدات العلمية. وقد سبق أن وصفنا باقتضاب أسلوب المشاهدات على أنه نصوص حول بعض النقاط الراقصة، بينما تستخدم المبادىء العامة للعلم تعبيرات مثل «القوة» و«الجهد» و«الطاقة» إلخ. لا يمكن على الإطلاق أن نستنبط أي شيء عن الحقائق المشاهدة والنصوص الخاصة بالتعبيرات المجردة. ويمكننا في الميكانيكا أن نعرف ما هي دالة المتغيرات س، ص، ع بالنسبة للمتغير ز. إلا أن ذلك لا يدلنا بأي شيء عن الكون الذي نشهده. كيف نشهد التغيرات التي ستحدث في س، ص، ع؟ فبالاضافة إلى القواعد والمشاهدات يجب أن يشتمل منطق العلم على الصلة بين المفاهيم المجردة للعلم والتعبيرات الخاصة بالمشاهدات. وتسمى مثل هذه الصلات «تعريفات العمليات» أو أحياناً «بالقواعد الخاصة بدلالة الألفاظ»(٤١) ومناقشة هذه القواعد أمر يخص منطق العلم أيضاً. وليس من المهم هنا أن تكون المبادىء جلية أو لا تكون كذلك فالمطلوب فقط هو أن تتفق النتائج مع التجربة، فهذا هو المسوغ الكافي لها وليس هناك مسوغ آخر من وجهة النظر العلمية.

وعندما نأخذ بوجهة النظر العامة هذه فإننا نتجاهل جزءاً كبيراً من سلسلتنا. ويستطيع العالم أن يقول إن بقية السلسلة لا تعنيه في شيء، وأننا يجب ألا نتحدث عنها أو نفكر فيها. هذا رأي، ولكن هناك كثيراً من الناس لا يوافقون على إغفال الطرف الآخر من السلسلة إغفالاً كلياً. ولما كانت المبادىء الجلية لا يمكن تدقيقها على نحو مباشر بوسائل العلم، فإن علينا أن نتساءل عن الطريقة التي ندقق بها فيما إذا كان المبدأ مبدأً جلياً أم غير جلي. ويعتقد الناس أنه بالاضافة إلى الخط العلمي هناك نمط آخر من التفكير الفلسفي. ويقول آخرون إن الإنسان لا يمكنه أن يفقه شيئاً عن ذلك، واننا نحتاج في هذا الصدد إلى عون يفوق العقل، وان مصدر هذا العون هو الدين. ومن الواضح، على أية حال، أن الناس تواقون إلى أن تمتد المعرفة فيما يتجاوز «العلم» بمعناه الحديث إلى نطاق المبادىء الجلية. وهناك أيضاً هؤلاء الذين يجمعون بين وجهتي النظر، وهم الذين لا يرغبون في أن يمتد العقل البشري إلى ما وراء ما نسميه منطق العلم، ولكنهم يعتقدون أنه طالما كان الانسان معنياً بالمبادىء العامة، فهذه تنتمي إلى الدين الذي يجاوز العقل البشري لاجئاً إلى

ما فوق الطبيعيات. وليس من النادر أن نرى عالماً محنكاً يؤمن بما فوق الطبيعة[٤٢].

وقد يرى بعض الناس أيضاً أن الفلسفة تهتم بفروض ذات طبيعة تأملية أكثر مما يحدث في العلم. وأنا لست من هذا الرأي، إذ ان كل الفروض هي فروض تأملية. وليس من الممكن أن نميز بين الفروض العلمية والفروض التأملية. وبينما يقول المرء إن قوانين نيوتن وقوانين الكهرباء. . . . إلخ هي قوانين علمية، فهو يعتبر أن الفرض بأن كل الناس سيعيشون بعد الموت هو فرض تأملي. وقد حاول كثيرون أن يتحروا عن صحة هذا الفرض من خلال التجربة. وإذا نظرنا إلى هذا الفرض نظرة جدية فإنه يصبح فرضاً علمياً. ويمكن بالطبع أن يصاغ على نحو يستحيل معه تدقيقه من حيث المبدأ. فيمكننا أن نقول إن الناس يصبحون بعد الموت أرواحاً لها نفس لغتها وقوانينها، ولا تملك الوسائل للاتصال بالكائنات البشرية. وليس هذا فرضاً علمياً إذ لا سبيل إلى التحقق من صحته. فأي نوع من الفروض يكون؟ قد نسميه فرضاً ميتافيزئياً. وهو فرض لا علمي لأنه أساساً لا يمكن تدقيقه بالتجربة وليس لأنه فرض عجيب، فالفرض العلمي قد يكون هو أيضاً فرضاً عجيباً. فقد يقال إن كل الأشياء أشياء مادية، وأنه ليس هناك روح. فإذا صيغ هذا النص على نحو لا يسمح بتدقيقه فهو نص ميتافيزيائي وإذا كان النص يعني أن كل الحقائق عن الكون يمكن استنباطها من قوانين المادة ـ مثل الميكانيكا الكهربائية، والديناميكا. . . إلخ. فهو فرض علمي. قد يكون النص عجيباً ولكنه ليس نص ميتافيزيائياً. وقد يكون للمادية أيضاً معنى مختلف. فيمكننا أن نقول إن كل شيء في الكون مادي، إلا أننا مع ذلك لا نستطيع استنباط كل شيء من قوانين الميكانيكا إلخ. ومثل هذا النص لا يمكن تدقيقه من حيث المبدأ، ومن ثم فإن علينا أن نسميه نصاً ميتافيزيائياً.

وعلى هذا فإننا نفرق بين النص الميتافيزيائي والنص العلمي. فماذا تعني هذه النصوص الميتافيزيائية، ولماذا نتحمس لوضعها. إننا عندما نقول إنه ليس هناك إلا المادة، أو ليس هناك إلا الروح، فإننا بذلك نضع نصاً بشأن طبيعة الكون. فعلى أي أساس يكون هذا النص مقبولاً؟ وما هو الدور العملي الذي يؤديه؟ فمثل هذه النصوص لها نتائج عملية مثل ما للنصوص العملية؛ فهي ذات

تأثير مباشر على السلوك البشري.

٧ - الإيمان بالمبادىء الجلية

ربما كان الوصف الذي ورد في شجرة ديكارت[٤٣] الشهيرة هو أفضل وصف للوحدة بين العلم والفلسفة: فجذور هذه الشجرة تناظر الميتافيزياء (المبادىء الجلية)، أما جذع الشجرة فيناظر الفيزياء (نصوص متوسطة التعميم)، وتناظر الأغصان والثمار ما نسميه بالعلم التطبيقي. لقد اعتبر أن النظام كله الذي يشمل العلم والفلسفة مثل ما نعتبره اليوم علماً فقط، وقد أحس بأن المبادىء الميتافيزيائية تجد ما يبررها في النهاية من خلال «ثمارها» وليس لمجرد أنها غنية عن البرهان. وما نسميه اليوم علوماً تطبيقية كان في نظره لا يتألف من الميكانيكا (الهندسة) فحسب بل كان يشمل الطب والأخلاق أيضاً؛ بل إننا نتحدث اليوم عن الهندسة الاجتماعية. وكانت الصعوبة تتمثل في أن المبادىء العامة للعلوم - والفلسفة الكارتيزيه والأرسطورية لم يكن من الممكن أن تستنبط منها نتائج متفقة اتفاقاً دقيقاً مع المشاهدات، ولكن هذه المبادىء كانت تبدو جلية ومعقولة. ومن ثم فقد قطعت الشجرة عند منتصفها. فقد كان استنباط النتائج التقنية يتطلب بالضرورة أن يبدأ المرء من المبادىء الفيزيائية للجذع، أي من منتصف الشجرة. أما العلوم بمعناها الحديث فقد كان عليها أن تفكر فقط في كيفية ظهور الثمار من الجذع دون اعتبار للجذور التي قفزت منها.

وبعد ذلك في القرن التاسع عشر، كان هناك إحساس بأن قوانين نيوتن قد استعادت الوحدة القديمة. وقد تكونت عن فلسفة المادية فكرة أن قوانين الميكانيكا تلعب نفس الدور الذي لعبته القوانين العضوية القديمة في فلسفة أرسطو وأنه يمكن استنباط كل شيء من هذه القوانين. وفي بداية القرن العشرين أصبح من الواضح أن قوانين الميكانيكا ليست مرضية تماماً. وقد جرت عندئذ محاولة للحفاظ على هذه القوانين على أنها قوانين ميتافيزيائية[٤٤]، ظناً بأن حقائق الفيزياء النووية... إلخ يمكن استنباطها من المبادىء المتوسطة التعميم. وإذا أرجعنا النظر عبر تاريخ العلوم فسوف نشهد ظاهر غريبة كاملة. فبعد نيوتن، حازت قوانينه على الاحترام نظراً لفائدتها العملية. فقد أثبتت هذه القوانين أنها عملية إلى درجة أنها اكتسبت بعد فترة مكانة معينة، ومن ثم اعتبرت بدورها مبادىء «جلية» وقد وجد فيما بعد

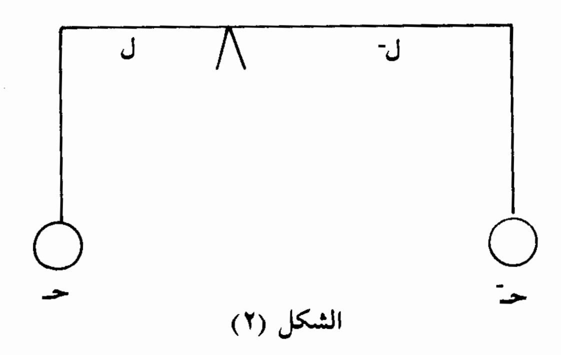
أنه قد بولغ في فائدتها العملية ـ فظواهر الفيـزياء النـووية (مثـل تحول الكتلة إلى طاقة) لا يمكن استنباطها من هذه القوانـين. وقد قيـل عندئـذ إن المحافـظة على قوانين نيوتن من أجل (مكانتها) لأنها كانت جلية(٤٥) وهنا نأتي إلى آخـر نقطة في هذا الفصل. ما هو المعيار الذي نحكم على أساسـه بما إذا كـانت هذه القـواعد «جلية» أو غير ذلك؟ وقد حظيت قوانين أرسطو في إحدى الفترات بـالمكانـة التي أشرنا إليها، وحظيت بها قوانـين نيوتن في فتـرة أخرى. وقـد عاش هـذا الإيمان بالنوع عندما اختفى الإيمان بالصلاحية العلميـة. ويمكننا أن نشـرح ذلك بـطرق عديدة. فيمكن تلقائياً أن نقول بأن الذهن البشري بليد وأن الناس يتأقلمون في بطء شديد مع التقدمات في العلم، فما نكاد نقترب من فهم بعض القوانين العامة من قـوانين العلم، حتى يثبت خـطؤها. وهنـاك ما يجب أن نـذكره بصـدد هـذا التفسير، ولكنه قد لا يمثل الحقيقة كلها. فمن المؤكـد أن قوانـين العلم لا تتمتع كلها بنفس القدر من الاستقرار. فبعضها يسهـل إسقاطـه ـ مثل قـواعد الـطرق التقريبية التي يستخدمها المهندس في عمله اليومي ـ ولكن قوانين نيوتن احتفظت بحيويتها زمناً طويلاً. ويمكننا أن نقول إن مثل هذه القوانين معقولة في جوهرها.

لماذا نرى أن بعض القوانين معقولة أكثر من البعض الآخر؟ لكي نجيب عـن هذا السؤال علينا أن ندرس بعض الأمثلة، مثل قانون السبب الكافي، أو قانون بقاء المادة. لماذا يبدو لنا هذان القانونان معقولين؟ ما من أحد سوف يقول إن قانون أوم أو قانون الحث الكهرومغنطيسي هما قانونان «معقولان» أو «جليان»، ناهيك عن كونهما في «غنى عن البرهان».

وإذا حللنا هذه الحقيقة تحليلاً نفسياً، فسوف نرى أن معقولية هذه القوانين تبدو في تشابهها الظاهري للمشاهدات التي نألفها كثيراً. فالبقاء بالنسبة للفيزيائي يعني أن دالة من دلائل الكميات الميكانيكية والحرارية والكهربائية تبقى ثابتة. فهذه الكميات التي يختلف مقدار كل منها باختلاف المجالات، يبقى مجموعها ثابتاً. ويمكن للفيزيائي أن يحسب من هذا القانون بعض النتائج مثل سرعة الثقل الهابط أو تكاليف الكهرباء. ويقول الفيزيائي عندئذ إن «الطاقة» مادة لا يمكن أن تفنى. ونحن في دنيا خبرتنا اليومية المباشرة نرى كثيراً من الأشياء التي لا يمكن أن تفنى. فنحن على سبيل المثال لا نتوقع للبيوت التي نعيش فيها أن تختفي من أمام أعيننا؛ وإذا انهارت هذه البيوت فإننا نعزي أنفسنا قائلين إن ما حدث هو مجرد / تجزؤ

البيوت / متحولة إلى ذرات وجزئيات. ونحن نعلم اليوم بالطبع أن الذرة يمكن أن تتحطم، ولكننا نعزي أنفسنا بأن الالكترون لا يمكن أن يحدث له ذلك. وأخيراً نحن نعلم أن كل شيء، عدا الطاقة، يمكن أن يفنى. والمقارنة بين أمر شديد التعقيد وأمر آخر بسيط ومألوف، ليست بالطريقة الشديدة العمق في التفكير ـ فنحن نستبدل النص المعقد لبقاء الطاقة الذي يستخدمه الفيزيائي بمشاهدات الخبرة المباشرة التي نعرف بها أن الأشياء لا تختفي ـ ولكن هذه المقارنة ترضينا. ويصبح المبدأ غامضاً إذا افتقد هذا التناظر مع الخبرة اليومية كما هو الحال اليوم مع مبدأ ميكانيكا الكم ومبدأ النسبية.

ويمكننا أن نسوق مثلاً بسيطاً على هذه النقطة. يبدأ دارس الميكانيكا عادة بالآلات البسيطة، ومن بينها الرافعة. فإذا سأل نفسه ما هو التوازن بالنسبة لرافعة بسيطة لا احتكاك فيها، فسوف يقال له إن هذا الشرط هو حـ-ل- (انظر الشكل٢). فكيف يستنبط هذا الشرط؟ إنه ليس معقولاً في حد ذاته لأن على المرء أن يتعلم الفيزياء لكي يعرفه. والحجة التي ساقها ارشميدس[٤٦] هي أنه إذا تساوت الأطوال والأثقال فإن الرافعة لن تتحرك لأنها لن تعرف في أي اتجاه تتحرك. فإذا قبل هذا المبدأ، فإن المبدأ العام يمكن استنباطه رياضياً. لقد كان لدى أرشميدس انطباع بأنه قد استنبط كل شيء من إحدى القواعد الجلية. وقد قال ارنست ماسن[٤٧] إن هذه الحجة خادعة. فهي تنطوي على افتراض مسبق بأن حركة الرافعة تعتمد فقط على طول الذراعين وعلى مقدار الثقلين. والحركة يمكن أن تعتمد على لون الذراعين أو الثقلين، وعلى مادتها، وعلى المجال المغناطيسي للأرض، الخ. وبعبارة أخرى، فقد افترض ارشميدس مسبقاً كل شيء أراد أن يثبته، وهو لم يستنبط ذلك من مبدأ السبب الكافي. وهو لكي يفعل ذلك، كان عليه أن يكون ملماً بالأسباب الموجودة في الكون. وهناك غير ذلك من اللاتناسقات الموجودة في الكون والتي لا نعلم عنها شيئاً. إنها دائرة هلامية تماماً. إن الرافعة لا يمكنها أن تتحرك إذ ليس لديها سبب لذلك. فلماذا ليس لديها سبب لكي تتحرك؟ لأنها تعتمد فقط على طول الذراعين وحجم الثقلين ـ ولكننا عندئذ نكون قد عرفنا ما نريد أن نثبته. إن خبرتنا أو فكرتنا عن التناسق فكرة غامضة. وإذا حللناها فإن علينا أن نقرر ما هي العوامل الهامة، وعندما نفعل ذلك نكون قد فعلنا كل شيء ـ فلسنا في حاجة إلى مبدأ السبب الكافي.



الشكل (٢)

والسبب الذي يدعونا إلى الإيمان بهذه المبادىء الجلية سبب سطحي جداً على وجه التأكيد. فالكثيرون لا يرغبون في أن يعترفوا بأن هذا الإيمان القوي إنما ينبع من تناظرات مبهمة مع الخبرة اليومية. وعدم الرغبة هذه يمكن التعبير عنها كما يلي: إن لهذه المبادىء طبيعة يصعب وصفها ـ إننا نعرفها «بالبصيرة» الناشئة عن نوع من المقدرة تختلف عن المقدرة المستخدمة في العلوم المعتادة والتي تؤدي إلى نتائج أكثر تأكيداً. قد تكون هذه المبادىء معقولة جداً، ولكنها غير قابلة للتطبيق؛ وهي تؤدي إلى مجالات لا تنتهي، تماماً مثل مبدأ التناسق وهو مبدأ معقول ولكنه غير قابل للتطبيق ما لم نصف ماهية الأنواع الهامة. والتناظر بين النصوص العامة والخبرة اليومية لا يمكن إلا أن يكون سطحياً أو ظاهرياً ـ وتنبع «هيبة» هذه النصوص الجلية ـ غير تلك التي تنبع من اتفاقها مع الحقائق المشهودة ـ تنبع من هذا التناظر المبهم مع الخبرة اليومية. ومن ثم فإنه إذا اجتثثنا جذور شجرة ديكارت، فإنه لا يتبقى سوى انتظارنا لتلك التناظرات المبهمة لكي ترد إلينا الإحساس بأننا يمكن أن نفهم المبادىء العلمية العامة على نحو أفضل مما نفهمها من خلال نتائجها المشاهدة.

٨ ـ العلم بمعناه المجرد

إذا شئنا أن نستخدم اللهجة التي أنشأنا عليها آباؤنا ومعلمونا فإننا نستطيع أن نتعرف على غرض مزدوج للعلم: وهو أنه يزودنا بالمعرفة التقنية، وأنه ينمي «فهمنا» للكون. وقد أصبح هذا الفرض المزدوج واضحاً بصفة خاصة عندما حدث الانفصام بين العلم والفلسفة. ثم ظهر بعد ذلك أنه من المستحيل أن

نحقق كلاً من الفرضين من خلال نظام فكري واحد. وقد رأى كثيرون، ولا يزالون يرون، أن العلم يمكنه أن يزودنا بالمعرفة التقنية فقط، وأنه ذو قيمة تقنية فقط. أما بالنسبة «للفهم الحقيقي» فإننا نحتاج إلى الفلسفة. وهي التي تضع المبادىء الجلية والمعقولة، ولكنها لا تزودنا بالمعرفة العملية الدقيقة. وقد حدث الانفصال بين العلم والفلسفة على هذا النحو. وما من شك في أن الفلسفة تخدم غرضاً علمياً أيضاً. فالعلم يقدم الطرق لتصميم أجهزة فيزيائية وكيميائية، بينما تزودنا الفلسفة بطرق لتوجيه سلوك الناس. ومن ثم فإن الجانب الفلسفي يصل إلى هدفه العملي بطريق مباشر أكثر مما يستطيع العلم بمعناه المحدد أن يفعله.

وما أعنيه «بالعلم بمعناه المحدد» هو العلم في مرحلة انفصاله عن الفلسفة وكما يدرس في المدارس العلمية المعتادة. ومن هذه «الناحية العلمية» يجب أن يشتمل العلم على أقل قدر ممكن من الفلسفة. ويبدأ المدرس من الحقائق المشاهدة ثم يضع المبادىء التي يمكن أن تستنبط منها هذه الحقائق. ولا يهتم «العلم بمعناه المحدد» بما إذا كانت هذه المبادىء جلية. إنه يهتم بأن يكون من الممكن استنباط عدد كبير من الحقائق المشاهدة من عدد قليل من مثل هذه المبادىء «المتوسطة التصميم». ويسمى ذلك بمبدأ الاقتصاد في العلم. فعندما نضع عدداً صغيراً من المبادىء التي يمكن أن نستنبط منها أكبر عدد ممكن من الحقائق فهذا نوع من التوصل إلى الحد الأدنى للمشكلة. إن الحلم الذي يراود العلم هو استنباط جميع الحقائق من مبدأ واحد. والمحتمل أن يتعذر تحقيق ذلك. وإذا كان تحقيق ذلك أمراً متعذراً في محيط العلم، فإن من الممكن أن نتخيل أن مبادىء العلم يمكن استنباطها من مبدأ رئيسي (master) واحد في الفلسفة، حيث لا يكون الاتفاق الدقيق مع الحقائق المشاهدة أمراً مطلوباً. إن استنباط كل شيء من الماء، ومن النار، ومن الروح كما حاول اليونانيون القدامى أن يفصلوا، يعتبر حداً أقصى في الاقتصاد.

ومن المهم أن نتذكر دائماً أن العلم ليس جمعاً للحقائق. فليس هناك علم يبنى بهذه الطريقة. فإذا جمعنا نصوصاً تبين الأيام التي يسقط فيها الجليد على لوس انجيلوس فهذا ليس علماً. ولا يكون لدينا علم إلا إذا وضعنا مبادىء نستطيع أن نستنبط منها الأيام التي سوف يسقط فيها الجليد على لوس انجيلوس. وفوق ذلك، إذا كانت المبادىء التي نضعها تبلغ من التعقيد حداً مثلما تبلغه الخبرة ذاتها، فلن

يكون ذلك اقتصاداً ولن يكون «علماً بمعناه المحدد». إن عدداً كبيراً من المبادىء يستوي مع مبدأ واحد شديد التعقيد. وإذا كانت المبادىء على نفس الدرجة من التعقيد مثل الحقائق نفسها، فإنها لا تؤلف علماً. ومجرد مشاهدة مواقع الكواكب في السماء ليس علماً. وقد حاول العلماء القدامى أن يضعوا منحنيات يمكنها أن تصف هذه الحركة. وقد كان المتصور في وقت ما أن تكون هذه المنحنيات على شكل دوائر. وبعد ذلك تحول هذا التصور إلى قطاعات ناقصة، إلا أن ذلك ليس صحيحاً إلا إذا أهملنا الاضطرابات الطارئة على حركتها. وإذا أخذنا هذه الاضطرابات في اعتبارنا فإن معادلات هذه المنحنيات سوف تصبح بالغة التعقيد ـ فهناك من المصطلحات ما قد يملأ مجلداً يضم مائة صفحة. وهذا تعقيد لا يقل عن التعقيد المتمثل في تسجيل كل مواقع الكواكب. وهو لن يحقق لنا أي ميزة؛ كما أنه لا ينطوي على أي علم.

إذا لم يكن هناك عدد صغير من المبادىء، وإذا لم يكن هناك تبسيط، فلن يكون هناك علم. وإذا قال امرؤ إنه لا يريد معادلات، وإن ما يريده هو مجرد الحقائق كلها ـ فإنه يكون ساعياً فقط إلى الخطوة التمهيدية للعلم. وليس إلى العلم نفسه. وكثيراً ما يتهم العالم بأنه يفرط في التبسيط. وهذا صحيح، فليس هناك علم بدون إفراط في التبسيط. ومهمة العالم أن يجد معادلات بسيطة. ويرى البعض أن العالم لا يساعدنا على فهم أي شيء لأنه يفرط في تبسيط كل شيء. ومن ذا الذي يعرف طريقة أخرى «لفهم» الأشياء المعقدة غير الإفراط في تبسيطها؟

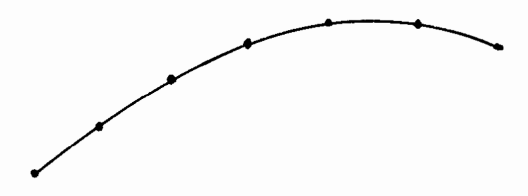
وعندما ينتهي العالم من وضع معادلة بسيطة، عليه أن يستنبط فيها حقائق مشهودة. ثم عليه أن يدقق هذه النتائج ليرى ما إذا كانت متفقة مع المشاهدات. ومن ثم فإن مهمة العالم تتألف من ثلاث خطوات:

١ ـ وضع المبادىء.
٢ ـ استخراج نتائج منطقية من هذه المبادىء من أجل استنباط حقائق بشأنها
٣ ـ التدقيق العملي لهذه الحقائق المشاهدة.

وتستخدم هذه الأجزاء الثلاثة ثلاث قدرات للعقل البشري. فالتدقيق العملي يستخدم القدرة على المشاهدة، لتسجيل الانطباعات الحسية. ويتطلب الجزء الثاني

تفكيراً منطقياً، ولكن كيف نجد المبادىء في الجزء الأول؟ إن هذه النقطة موضع خلاف كبير. ويجيب كثير من العلماءعن ذلك بقولهم: «بالاستقراء من الحقائق المشاهدة» ـ وهو عكس الاستدلال(٤٩). فإذا لاحظ العالم أن نفس النتيجة تظهر في كثير من الحالات، فإنه سوف يستخلص من ذلك أن نفس النتيجة سوف تظهر دائماً. ويذكرنا هذا بقصة الرجل الذي اشترى حصاناً وأراد أن يعود الحصان على أن يعيش دون أن يأكل، وقد نجح في أن يمنع الحصان من الأكل على مدى ثلاثين يوماً، واستخلص من ذلك أن الحصان قد تدرب على أن يعيش بدون أكل؛ لكن الحصان مات في اليوم الحادي والثلاثين ـ «والاستقراء» ليس بهذه البساطة. إننا لا نكاد نستطيع أن نصنع به طريقة لإيجاد مبدأ عام مثل مبدأ الجاذبية. ونحن جميعاً نعرف قصة اسحق نيوتن وكيف افترض أنه اهتدى إلى النظرية العامة للجاذبية عندما سقطت تفاحة فوق رأسه. وسواء كانت هذه القصة صحيحة أم لا، فإننا لا يمكن أن نضع نظاماً للاستقراء يقوم على مثل هذا الأساس.

والطريقة التي نحصل بها على القواعد العامة ليست على أية حال بالطريقة الوثيقة الصلة في معرض تحليل العلم. فقد يهتدي الإنسان إلى المبادىء العامة في أحد أحلامه. وطريقة حصولنا على هذه المبادىء يكون لها دور إذا أجرينا تحليلاً اجتماعياً أو تحليلاً نفسياً للعلم. إن ما يهم في «منطق العلم» بالنسبة للمبادىء العامة هو الطريقة التي نستنبط بها بقية الكيان العلمي بالاستدلال من هذه المبادىء، وليست الطريقة التي نحصل بها على هذه المبادىء عن طريق الاستقراء. أما المقدرة التي نحتاجها لكي نحصل على المبادىء العامة للعلم فيمكننا أن نسميها «الخيال»(٥٠). وسوف نصطدم فوراً بصعوبات الاستقراء في أبسط الحالات. لنفترض أننا رسمنا نتائج مجموعة من القياسات بمجموعة من النقط على ورقة إحداثيات وأننا نريد أن نعبر عن هذه النتائج بإحدى الدلائل. إننا نتصور أن المنحنى الذي تمثله هذه النقط يجب أن يكون منحنياً أملس على قدر الإمكان. وإذا لم تكن لدينا أية فكرة عما يجب أن يكون عليه المنحنى. فإننا لن نجده. فالنقاط لا تحدد المنحنى في أية حال، ويجب علينا أن نتخيل معياراً «لنعومة» المنحنى. (انظر الشكل ٣). وسوف نناقش مشكلة الاستقراء بمزيد من العناية في الفصل (٣).



الشكل (٣)

٩ ـ العلم، والفطرة السليمة والفلسفة

سوف نصف الآن العلاقة بين العلم والفلسفة بعد أن انفصم كل منهما عن الآخر، وذلك بطريقة تبدو متناقضة بعض الشيء ولكنها على وجه التأكيد إفراط في التبسيط. وسوف توجه هذه الطريقة انتباهنا إلى الخصائص المركزية لكل من الحقلين اللذين يشغلان الإنسان. إن مبادىء العلم يمكن صياغتها على نحو تكون فيه بعيدة جداً عن الفطرة السليمة، ولكن تدقيقها بالتجربة يتم دائماً على مستوى الخبرة المستساغة (خبرة الفطرة السليمة). وينشأ وضع متناقض مؤداه أن الفلسفة أقرب على نحو ما إلى الفطرة السليمة من العلم. لقد اقتضت الفلسفة دائماً اتصالاً وثيقاً بين المبادىء العامة نفسها وبين الخبرة المستساغة. وكلما تقدم العلم في المجال الفطري، كلما أصبحت مبادئه العامة أكثر نأياً عن الفطرة السليمة. يمكن أن نصف نتائج المشاهدات والتجارب التي تؤلف الأساس الحقيقي للعلم بلغة الحياة اليومية، وبتعبير آخر بنصوص مستساغة. ميزت فيزياء أرسطو وفيزياء القرون الوسطى بين الأجسام «الثقيلة» مثل الصخور، التي تهبط نحو الأرض، والأجسام «الخفيفة» مثل الدخان، التي تتصاعد إلى السماء. وهذه لغة «رجل الشارع». وقبل ظهور الفيزياء الحديثة عام ١٦٠٠ لم تستعمل هذه اللغة في وصف المشاهدات فحسب، بل في صياغة المبادىء العامة للعلم أيضاً: «إذا كان الجسم ثقيلاً فإنه يسقط». وقد كتب هربرت ونجل[٥١] يقول: «إن عظمة الإسهام الفكري الخالد الذي حققه جاليليو تتمثل في أنه ـ بالرغم من أن ما فعله لم يكن عن وعي كامل ـ قد تخلص من دنيا الفطرة السليمة (المستساغة) اليومية كضرورة فلسفية»[٥٢]. وينص النظام الفطري الذي وصفه على أن كل الأجسام تهبط إلى أسفل بنفس العجلة. لقد مهد الطريق للنظام النيوتوني القائل بأن الكواكب تتحرك طبقاً لنفس القوانين التي يتحرك بها جسم ساقط، بالرغم من أن خبرتنا المستساغة يتراءى لها

أن هناك فارقاً رئيسياً بين هذين النمطين من أنماط الحركة. وفي واقع الأمر أن تقدم العلوم قد انطوى إلى حد كبير على استبدال دنيا الرموز المجردة بدنيا الفطرة السليمة.

وإذا أردنا صياغة مبادىء عامة يمكن أن نستنبط منها عديداً من الحقائق المشاهدة، فإن علينا أن نتخلص من لغة الفطرة السليمة وأن نستفيد من المصطلحات الفنية الأكثر تجريداً. وقد بين هربرت ونجل أن هناك فارقاً حاداً يميز بين الفيزياء والكيمياء وفقاً لمستوى الفطرة السليمة. أما إذا تحدثنا على مستوى الفيزياء الذرية والنووية الحديثة، فإننا لا نجد هناك فارقاً على الاطلاق. وقد كتب ونجل يقول:

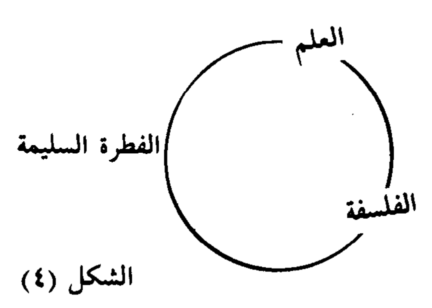
«والحق أن الكيمياء ليس لها في الواقع مكان في النظام العلمي الدقيق.... والدور الذي تلعبه الكيمياء في نمو العلوم كان دوراً عملياً ومشجعاً على حب الاستطلاع»(٥٣). وفي ايجاز يمكننا أن نقول إن الكيمياء اليوم مصطلح من مصطلحات الفطرة السليمة وليست مصطلحاً علمياً.

إن لهذه الملاحظات أهمية كبرى في فهم العلوم المعاصرة. فكثير من المصطلحات التي كانت تستخدم من قبل في لغة العلم لم يعد ممكناً أن تستخدم الآن لأن المبادىء العامة للعلوم المعاصرة تستخدم الآن مصطلحات أكثر نأياً عن لغة الفطرة السليمة. فالتعبيرات التي من طراز «العقل» و«المادة» و«السبب والنتيجة» هي اليوم مجرد تعبيرات فطرة سليمة، وليس لها مكان في الحديث العلمي الدقيق. وعلينا لكي ندرك هذا التطور أن نقارن بين فيزياء القرن العشرين، وسالفتها في القرن الثامن عشر والقرن التاسع عشر. استخدمت الميكانيكا النيوتونية مصطلحات مثل «الكتلة» و«القوة» و«الموضع» و«السرعة» بمعنى يبدو قريباً من استخداماتها في لغة الفطرة السليمة. وفي نظرية أينشتاين للجاذبية نجد أن مصطلحات مثل «احداثيات الحدث» أو «الجهود الممتدة الكمية» هي مصطلحات ترتبط بلغة الفطرة السليمة من خلال سلسلة طويلة من التفسيرات. ونجد هذا الأمر أكثر صحة في مصطلحات نظرية الكم مثل «الدالة الموجبة» و«مصفوفات الموضع»... إلخ. وقد تحدث أينشتاين في محاضرة له في أكسفورد عام ١٩٣٣ عن «الفجوة التي يتزايد اتساعها بين المفاهيم والقوانين الأساسية من

ناحية والنتائج التي يجب أن نربطها بخبرتنا من ناحية أخرى، وهي الفجوة التي تتسع باضطراد من التطور في وحدة البنية المنطقية، أي مع اختزال العناصر المستقلة منطقياً والمطلوبة لأساس النظام بأجمعه»[٥٤].

وقد ورد وصف مشاهداتنا وتجاربنا دون تغير في لغة الفطرة السليمة، التي لا تصمد أمام كل المتغيرات التي تطرأ على المبادىء. ومن ثم فقد تزايد تعود العلم على استخدام لهجات مختلفة لنفس الصورة للكون، وأصبح من مهام العالم أن يوفق بين هذه اللهجات المختلفة لوضعها في نظام واحد متلاحم. وقد صدق هربرت ونجل عندما قال: «إنني عندما أؤكد على ضرورة تحرير الفلسفة العلمية من تطفل المفاهيم المستساغة (مفاهيم الفطرة السليمة)، فإني لا أفعل ذلك للحط من قيمة الفطرة السليمة وإنما لأن الخطر الأكبر إنما يكمن اليوم في هذا التشويش»[٥٥].

وبسبب هذا التشويش، نرى كثيراً أنه عندما يشترك عالم وفيلسوف في مناقشة المبادىء العامة فإن الفيلسوف يعترض بدعوى أن المبادىء التي يسوقها العالم مبادىء عويصة. فهناك نجد الفارق الأساسي بين طرفي سلسلتنا. فعند الطرف العلمي، يتم الاتفاق مع الفطرة السليمة على مستوى المشاهدات المباشرة، بينما يتم هذا الاتفاق عند الطرف الفلسفي على مستوى المبادىء المجردة نفسها. وقد وصف الفيلسوف الفرنسي ادوارد لورروى[٥٦] ذلك وصفاً حياً. يبدأ العلم من الفطرة السليمة ويستنبط المرء العلم من التعميم بالاستقراء أو بالخيال؛ غير أن المبادىء المستنبطة نفسها قد تكون بعيدة جداً عن الفطرة السليمة. ولربط هذه المبادىء بالفطرة السليمة ربطاً مباشراً ـ وهذا عمل يقوم به الفلاسفة ـ يمكننا أن نرسم هذا الشكل:



الشكل (٤)

يشير الشكل إلى أن هناك طريقين للوصول من العلم إلى الفطرة السليمة. الطريق العلمي (من خلال الاستنباطات الرياضية والإثبات العملي) وهو في العادة طريق طويل. ولذلك فإن الانسان يحتاج إلى وسيلة لكي تصبح بها هذه المبادىء معقولة على نحو مباشر، وهذا يعني أن تكون وسيلة تربط هذه المبادىء بالفطرة السليمة بواسطة «دائرة قصيرة» أما التفسيرات الفلسفية فتربط المبادىء العلمية ربطاً مباشراً بالفطرة السليمة(٥٧). ولا أستطيع أن أدعي بأن هذا الرسم مضبوط تماماً، ولكنه يعطي المرء فكرة عن تركيب العقل البشري. فالفلسفة تدخل على العلم شيئاً لا يثير اهتمام العالم «كعالم» وفي واقع الأمر أن العالم بشر وله نقاط ضعفه إذا اعتبرنا أن من الضعف أن يكون من المطلوب أن تكون المبادىء العامة معقولة في حد ذاتها. ويشعر مدرس الفيزياء دائماً بأن تلاميذه يسرهم أن يستمعوا إلى أي إشارة تجعل القوانين تبدو معقولة. ومن ثم يمكننا أن نقول إن كل الناس يهمهم هذا الأمر. والعالم «على هذا النحو» لا يهتم كثيراً بهذا الأمر، ولكن هذا يبين لنا كيف يقوم الناس بوجه عام بتبرير العلم، وكيف يتخيلونه.

١٠ ـ حواشي الفصل [٢]

١ ـ انظر الفصل ١، حاشية ٢٥.

٢ ـ قانون أوم، «تتناسب شدة التيار الكهربائي في الدائرة مع مقاومة السلك»، وضعه الفيزيائي الألماني جورج س. أوم (١٧٨٧ ـ ١٨٥٤) عام ١٨٢٧.

٣ ـ يقول القانون بأن الكتلتين الميكانيكيتين تؤثر كل منهما على الأخرى بقوة تتناسب عكسياً مع مربع المسافة بينهما. وقد وضع السير اسحق نيوتن هذا القانون عام ١٦٨٥.

٤ ـ ترجع المعادلات التفاضلية للمجال الكهرومغنطيسي إلى الفيزيائي البريطاني جيمس كلارك مكسويل (١٨٣١ ـ ١٨٧٩).

٥ ـ انظر الفصل ١، الحاشية ١٦.

٦ ـ تفترض النظرية الجسيمية أن شعاع الضوء يتكون من جسيمات مادية صغيرة تتحرك وفقاً لقوانين الميكانيكا. وتفترض النظرية الموجيّة أن انتشار الضوء يجب أن ينظر إليه باعتباره انتشاراً لموجات في وسط متصل، مثل انتشار موجات الصوت في الهواء أو موجات الماء في المحيط.

٧ ـ أفضل طريقة للتعرف على مذهب أرسطو الأصلي هو قراءة كتابه «On the Heavens, the Works of Aristotle»، تحرير و. د. روس (لندن: مطبوعات جامعة إكسفورد ١٩٠٨ ـ ١٩٥٢).

٨ ـ هيرمان هلمهولتز فيزيائي وفسيولوجي وسيكلوجي ألماني شهير. كتب في مقاله الشهير «On the Conservation of Energy» (١٨٤٧) «مهمة العلم الفيزيائي هي في النهاية تلخص كل ظواهر الطبيعة في قوى تجاذب وتنافر. . . . ولا يمكن أن نفهم الطبيعة إلا إذا حل هذا الموضوع».

٩ ـ «Science and the Modern World» لألفريد نورث هوايتهد (١٨٦١ ـ ١٩٤٧) (نيويورك: شركة مكميليان، ١٩٢٥)، الفصل ١، استعمل بإذن من الناشرين. وهوايتهد رياضي وفيلسوف انجليزي وفي عام ١٩٢٤، عبر هوايتهد المحيط الأطلسي ليصبح أستاذ الفلسفة في جامعة هارفارد.

١٠ ـ نفس المكان.

١١ ـ وليام جيمس (١٨٤٢ ـ ١٩١٠)، سيكولوجي وفيلسوف أمريكي. قائد الحركة المعروفة «بالفلسفة الذرائعية».

١٢ ـ وليام جيمس، محاضرات عن الفلسفة الذرائعية ألقيت بمعهد لويل في بوسطن عام ١٩٠٧، ونشرت في نيويورك ولندن عام ١٩٠٧. وفي المحاضرة الأولى يضرب وليام جيمس مثلاً «لهذين النمطين من التركيب الذهني» بالأضداد التالية: العقلي (المعتمد على المبدأ) والوضعي (المعتمد على الواقع)؛ المثالي والمادي؛ العقائدي والإلحادي؛ والقدري والمؤمن بالإرادة الحرة.

١٣ ـ «Legacy of Rome»، لجوستافو جيوفاني، تحرير سيريل بيلي (لندن: مطبوعات جامعة اوكسفورد، ١٩٢٣) صفحة ٤٣٣. يعمل المؤلف بمدرسة الهندسة التطبيقية في روما.

١٤ ـ أرسطو، Politics، من «The Works of Aristotle»، تحرير و.د. روس (لندن: مطبوعات جامعة أوكسفورد، ١٩٠٨ـ١٩٥٢)، الكتاب ١، ٥.

١٥ ـ نفس المكان.

١٦ ـ بلوتارك (٤٦ ـ ١٢٠م) كاتب سير الحياة وفيلسوف شعبي يوناني. كتب عن حياة ستة وأربعين شخصاً، وسير حياة أزواج من الناس، أحدهما يوناني والآخر روماني. وقد ترجم «Plutarch Lives» بواسطة جون لانجهورن ووليام لانجهورن (نيويورك: هاربر واخوته، ١٨٤٦).

١٧ ـ بيريكليس (٤٩٩ـ ٤٢٩ ق.م). رجل دولة يوناني شهير. ويرجع إليه كثير من الفضل في روعة الفن الراقي في زمانه. وقد كان راعياً لفيدياس وغيره من كبار الفنانين.

١٨ ـ يعتبر فيدياس (حوالى ٥٠٠ ـ ٤٣٤ق.م.) أعظم النحاتين اليونانيين.

١٩ ـ أنا كريون شاعر غنائي يوناني ولد حوالي عام ٥٦٠ ق.م.

٢٠ ـ مارشيللوس جنرال روماني استولى على سيراكوز عام ٢١٢ ق.م. كتب بلوتارك سيرة حياته (انظر الحاشية ١٦).

٢١ ـ ارشميدس (٢٨٧ـ ٢١٢ق.م.) رياضي ومخترع يوناني ولد بمدينة سيراكوز.

٢٢ ـ انظر الحاشية ٢٠.

٢٣ ـ بلوتارك في ما كتبه عن سيرة حياة مارشيللوس.

٢٤ ـ هوايتهد، في المرجع المشار إليه.

٢٥ ـ نفس المكان.

٢٦ ـ كان ابولونيوس أول من أدخل اللاتمركز وأفلاك التدوير في الفلك اليوناني، ومن بعد أدخل عليهما هيباركوس (١٣٠ق.م.) وبطليموس (١٣٠م) تحسينات دقيقة.

٢٧ ـ كان روجر باكون (حوالى ١٢١٤ـ ١٢٩٨) أحد معاصري سان توماس أكويناس.

٢٨ ـ روجر باكون، Opus Magnus، تحرير ج.هـ. بريدجز (لندن: مطبوعات جامعة أوكسفورد، ١٨٩٧)، المجلد ٢، صفحة ١٦٩ـ ١٧٠.

٢٩ ـ انظر المقدمة، الحاشية ٣.

٣٠ ـ جيمس بريانت كونانت، «Science Discoveries May be Disregarded»، «Science and Com-

«mon Sense، (نيوهافن: مطبوعات جامعة ييل، ١٩٥١)، القسم ٧.

٣١ ـ فرانسوا جين دومينيك أراجـو (١٧٨٦ ـ ١٨٥٣) فيزيـائي فرنسي، قـدم عام ١٨٥٠ فكـرة «التجربـة الحاسمة» التي تحسم النزاع بين النظرية الجسيمية والنظرية الموجية للضوء.

٣٢ ـ Annalen der Physik، ١٧ (١٩٠٥)، لالبرت أينشتاين.

٣٣ ـ بيير دوهيم، The Aim and Structure of Physical Theory، ترجمة ب. وينر (برينستون: مطبوعات جامعة برينستون، ١٩٥٤) الجزء٢، الفصل ٥، القسم٣.

٣٤ ـ أينشتاين، في المرجع المشار إليه.

٣٥ ـ فرانسيس باكون، بارون فيزولام (١٥٦١ـ ١٦٢٦). فيلسوف ورجل دولة انجليزي.

٣٦ ـ فرانسيس باكون «Description Globi Intellectualis» (كتب ١٦١٢ على وجه الاحتمال). انظر The Philosophical Work of Francis Bacon، تحرير إليس د. سبدنج (لندن ١٨٥٧).

٣٧ ـ على سبيل المثال في كتاب Facts and Fiction in Modern Science (١٩٤٤) تـأليف هـ. ف. جيل، مكتوب من وجهة نظر الفلسفة التومستية.

٣٨ ـ جاء في كتاب وليام هويويل «History of the Inductive Sciences» في المجلد ٢، الكتاب ٦، الفصل ٣، القسم ٣، عن استقبـال النظريـة النيوتـونية في الخـارج أنه «حتى هؤلاء الـذين تؤهلهم قـدراتهم الرياضية لأن يمتدحوا براهينها، قد منعتهم أفكـار غريبـة عن أن يتبنوا النـظرية كنـظام، مثل ليبنـز، وبرنوللي، وهيجنز، فقد تمسكوا جميعاً بتعديل أو بآخر لنظام الدوامات». والسبب الرئيسي لموقفهم هذا هو بغضهم الشديد لقانون القصور الذاتي. وقد محصنا هذا السبب في الفصل ٧، القسم ١.

٣٩ ـ اسحق نيوتن في رده على ليبنز، وقد نشر في Memoirs of Literature (١٧١٢)، ١٨.

٤٠ ـ انظر الفصل ٣ قسم ١٠؛ والفصل ٤ قسم ٦، ٧؛ والفصل ١٣ قسم ٤.

٤١ ـ بواسطة «قواعد علم دلالات الألفاظ» تربط العلاقات بين الرموز بالنصوص التي يكون لها معنى في لغتنا الفطرية السليمة.

٤٢ ـ العلماء الذين يتمسكون «بالوقائع المستعصية» ولا يثقون بالتعميمات العريضة سوف يعتبرون أن نظرية النسبية ونظرية داروين في البيولوجيا نظريتان «غير علميتين». وبما أن لكل انسان «نقاط ضعف» (انظر الحاشية ١٢)، فسوف يرتاح هؤلاء العلماء إلى تمسكهم بالتعميمات التي تشربوها أثناء طفولتهم.

٤٣ ـ ريني ديكارت Principles of Philosophy، النسخة الأصليـة بالـلاتينية، ١٦٤٤. الترجمة الفـرنسية ١٦٤٧.

٤٤ ـ انظر الفصل ٧ قسم ١، ٤.

٤٥ ـ نفس المكان.

٤٦ ـ انظر الحاشية ٢١.

٤٧ ـ ايرنست ماسن (١٨٣٨ ـ ١٩١٦) فيزيائي وسيكلوجي وفيلسوف نمساوي. وقد أخذت مناقشة قانون الرافعة لأرشميدس عن كتاب ماسن «Science of Mechanics» (١٨٨٣).

٤٨ ـ اعتبر تاليس (حوالي ٦٠٠ق.م.) أن الماء هو المادة الأولية، أما أناكسيمين (حوالى ٥٥٠ق.م.) فقد اعتبر أنها الهواء، واعتبر هيراقليتس (حوالى ٥٠٠ ق.م.) أنها النار.

٤٩ ـ محص دور الاستقراء في العلم في الفصلين ١٣، ١٤.

٥٠ ـ إذا درسنا بدقة كيف نعثر على مبادىء جديدة في العلم، يتضح لنا أن مبدأ مثل قانون القصور الذاتي، أو مبدأ النسبية لا يمكن اختراعها بأي طريقة نظامية (استدلالية أو استقرائية)، ولكن يتم ذلك فقط باستخدام قدر من القدرة الاختراعية، وهي ما تسمى أيضاً «الخيال» وأحياناً «الحدس». وقد أكد أينشتاين على ذلك في إحدى محاضراته (انظر الحاشية ٥٤).

٥١ ـ هربرت دنجل فيزيائي فلكي وفيلسوف في العلم بريطاني، وقد نظم برنامجاً لدراسة تاريخ العلم وفلسفته في University College بلندن. وقد أصبح هذا المنهج مثالاً طيباً تحتذيه المؤسسات الأخرى.

٥٢ ـ هربرت دنجل، «طبيعة الفلسفة العلمية»، «Proceedings of the Royal Society in Edinburgh» (١٩٤٩)، ٦٢، القسم ٥، صفحة ٤٠٩.

٥٣ ـ نفس المكان.

٥٤ ـ ألبرت أينشتاين، «عن طريق الفيزياء النظرية»، في محاضرة هربرت سبنسر التي ألقيت في أوكسفورد ١٩٣٣ وأعيد طبعها في «الكون كما أراه» (The World as I see It)، ترجمة آلان هاريس (نورونتو: جورج مكلويد وشركاه، ١٩٣٤).

٥٥ ـ هربرت دنجل، نفس المرجع المشار إليه، صفحة ٤٠٣.

٥٦ ـ ادوارد لو روى (١٨٧٠ ـ)، فيلسوف فرنسي، «العلم والفلسفة»، «Revue de Metaphysique et du Monde» (١٨٩٩)، ١، صفحة ٣٧٥ وما يليها.

٥٧ ـ فيليب فرانك، «Metaphysical Interpretations of Science»، قسم ٤، «Science and Common Sense»، «The British Journal of the Philosophy of Science»، المجلد ١.

[٣]
الهندسة: مثال لأحد العلوم

١ ـ الهندسة كهدف للفلسفة

كتب بيرس (C.S. Pierce) عام ١٨٩١[١] يقول: «كانت الميتافيزياء دائماً كالقرد المقلد للرياضيات» ومن المعروف أن أفلاطون لم يكن يسمح لطالب في الفلسفة بأن يقبل في الأكاديمية ما لم يكن قد تلقى تدريباً في الهندسة[٢]. واستطرد بيرس شارحاً تلك الحاجة بقوله: «فالهندسة تفتق فكرة النظام الموضح لمبادىء فلسفية بحتة معينة، كما أن جانباً كبيرا من أفكار الميتافيزيائيين كانت مستمدة في كل زمن من الرياضيات»[٣]. وقد اهتزت الثقة في غنى المبادىء الميتافيزيائية عن البرهان عندما تبين أنه حتى بديهيات الهندسة ليست في غنى عن البرهان. وليست صالحة على نحو أبدي»، وقد اتضح ذلك من الهندسة غير الأوقليدية. وكتب بيرس يقول: «والبديهيات الميتافيزيائية هي صور مقلدة للبديهيات الهندسية؛ والآن وقد نبذت الأخيرة، فلا شك أن سابقتها تلحق بها»[٤].

وما من شك في أن الثقة الكبيرة التي تحققت في مجال الهندسة قد أحيت الأمل في تحقيق نفس القدر من الثقة في المجالات الأخرى للمعرفة، وفي مقدمتها الفلسفة، صانعة المعرفة جميعها. وقد شرح رينيه ديكارت[٥] الدور الذي أسنده للهندسة كمرشد للفلسفة، وذلك في مؤلفه الشهير (Discourse on Method)، وهو منار مرشد عند بداية الفلسفة الحديثة (بعد عام ١٦٠٠):

إن السلسلة المطولة من البراهين البسيطة والسهلة التي تعود الهندسيون أن

يستخدموها للتوصل إلى النتائج في أصعب براهينهم قد حملتني على أن أتخيل أن كل الأشياء ـ التي يستطيع الإنسان أن يعرفها ـ ترتبط ببعضها ارتباطاً متبادلاً بنفس الطريقة. وأنه ما من شيء قد أخفي بحيث يتعذر علينا اكتشافه، بشرط أن نتحاشى الخلط بين ما هو حقيقي وما هو زائف، وأن ندخر في أفكارنا دائماً الترتيب الضروري للاستدلال على إحدى الحقائق من حقيقة أخرى(٦).

ولما كانت الإجراءات في الهندسة قد أدت إلى نتائج مرضية أكثر مما حدث في أي مجال آخر للعلم، فقد استنتج ديكارت من ذلك بعض التعميمات ووضع أربع «وصايا للمنطق» لكي ترشده إلى الحقيقة. وقد وصف هذه التعميمات كما يلي:

الأولى ألا أقبل أي شيء على أنه صحيح ما لم أتبين بوضوح أنه كذلك؛ أي أن أكون حذراً في تجنب الاندفاع والتجني، وألا ينطوي حكمي على غير ما يراه عقلي رؤية واضحة ومحددة بحيث أتجنب كل الأسباب الممكنة للشك(٧).

ومعرفة الشيء بوضوح وتحديد هي ما سميناه «المعيار الكارتيزي للحقيقة». وفي الواقع أن هذا لا يختلف كثيراً عن شرط أرسطو. بأن تكون المبادىء العامة للعلم «جلية» أو «معروفة جوهرياً» بعكس الانطباعات الحسية المبهمة التي «نعرفها» لكنها «غامضة جوهرياً» (أنظر الفصل ١).

ويستطرد ديكارت: «والثانية هي أن أقسم المشكلة التي بين يدي إلى أكبر عدد ممكن من اجزاء حسبما يقتضيه حل المشكلة»(٨) ومن الواضح أن هذه «الوصية الثانية» لديكارت هي أيضاً تعميم للطريقة الواقعية التي يستخدمها رجل الهندسة. فإذا أراد هذا أن يثبت من بديهيات الهندسة أن مجموع زوايا المثلث ١٨٠° فإنه يبدأ بخطوات صغيرة، كل منها استنتاج بسيط ومنطقي بحيث تبدو صالحة لأقل العقول تمرساً. وهذا التقدم بخطوات صغيرة هو ما يتطلبه ديكارت في «وصيته الثانية».

إن الصفة المميزة للهندسة والتي جعلت منها مثالاً لكل العلوم بل وللفلسفة يمكن أن تصاغ على هذا النحو: هناك نمطان من النصوص في الهندسة، بديهيات ونظريات. والأخيرة فقط هي التي يمكن إثباتها بالبرهان؛ أما حقيقة البديهية فيجب ألا تعرف بالتفكير ولكن بالبصيرة المباشرة، بعيون العقل، أو بما شئت أن تسمي هذه المقدرة. وهذا المفهوم في الهندسة هو الذي اتخذه الفلاسفة مثالاً في كل زمان.

وفي بداية الفلسفة الحديثة قال بليز باسكال[٩]:

إن معرفتنا بالمبادىء الأولى، مثل الفراغ، والزمن، والحركة، والعدد، يستوي تأكيدها مع أي معرفة نكتسبها بالتفكير. وفي الواقع أن هذه المعرفة التي تزودنا بها قلوبنا وغريزتنا هي بالضرورة الأساس الذي يبنى عليه استنتاجنا بواسطة العقل. وإذا لم يوافق عقلنا على المبادىء الأولى إلا إذا قدم له قلبنا إيضاحاً، فإن هذا الشرط سوف يكون مضحكاً، كما لو حجب قلبنا موافقته على كل الإيضاحات ما لم تكن مدعمة بمشاعر إضافية[١٠].

وبصرف النظر عن مدى اتساع الهوة بين النظم الفلسفية المختلفة، فإنها جميعاً تشترك في إيمانها بأمرين. الأول، أن هناك آراء (مقترحات) حول الحقائق المشهودة التي نعرفها على وجه التأكيد بالرغم من (أو ربما بسبب) انها لا تستند إلى الاستقراء من المشاهدات الحسية. والثاني، أن وجود مثل هذه الآراء «مثبت» من خلال المثل من الآراء الرياضية. فهذه الآراء معروفة على وجه التأكيد، وهذا التأكيد لا يستند إلى حقائق اختبارية (وضعية). وهناك اختلاف كبير بين الفيلسوف الألماني المثالي[١١] ايمانويل كانت والفيلسوف الفرنسي العقلي[١٢] ديكارت. وقد أكد كانت، أكثر من كل من ديكارت وباسكال، على الإيمان بإمكانية تأسيس «الفلسفة بمعناها المحدد» في «الميتافيزياء» في نهاية الأمر على مثال الهندسة التي كان مجرد وجودها دليلاً على إمكانية «المبادىء الجلية». ولكي نفهم النص الذي أورده كانت يكفينا فقط أنه كان يعني بما سماه «الحكم الاستنتاجي المصطنع» نفس ما سميناه نصاً عن الحقائق المشهودة التي ندركها بعين العقل دون رؤية حسية واقعية، لكن تدقيقها بالمشاهدات الحسية الواقعية أمر ممكن وضروري. وقد كتب كانت في مؤلفه «Prolegomenta to Any Future Metaphysics» يقول:

بالرغم من أننا لا يمكن أن ندعي أن الميتافيزياء علم حقيقي، فإننا لحسن الحظ يمكن أن نقول في ثقة إن هناك معارف استنتاجية اصطناعية معينة. هي الرياضيات البحتة، والفيزياء البحتة، وهي معارف حقيقية وموهوبة، لأن كلاً منها يضم آراء ومقترحات نعرف تماماً أنها آراء مؤكدة. . . . ومع ذلك فهي لا تعتمد على التجربة. ولذلك فإن لدينا على الأقل للمعرفة الاستنتاجية المصطنعة التي لا يمكن تفنيدها، ولا نحتاج إلى أن نسأل عما إذا كان من الممكن أن تكون حقيقية . . .

وإذا درسنا هذا الذي تشترك فيه المدارس الفلسفية الرائدة، فيبدو أن من الأفضل أن نفحص الهندسة من وجهة النظر العلمية البحتة لنرى هل تتألف الهندسة حقاً من بديهيات تحددها البصيرة الداخلية من جانب، ومن نظريات تستنبط منطقياً من هذه البديهيات من جانب آخر. وفي واقع الأمر كان هذا هو الرأي السائد بين الرياضيين، ويمكننا أن نلحظ ذلك إذا تصفحنا أي كتاب دراسي متوسط في الهندسة. ويمكننا أن نختار على سبيل المثال كتاب الهندسة المستوية والفراغية الجديدة (New Plane and Solid Geometry) الذي نشره و بيمان ود. سميث عام ١٨٩٩[١٥]. فقد ورد في الكتاب: «هناك قليل من النصوص الهندسية الواضحة إلى درجة أن صحتها تعتبر أمراً مسلماً به». ويبرز المؤلفان ـ كما يفعل أوقليدس ـ نوعين من أمثال هذه «النصوص الواضحة» من البديهيات والمبادىء الأساسية والأمور المسلَم بها. وأن كل المصطلحات الفلسفية العميقة لأرسطو وكانت، وما يوصف بأنه «جلي في جوهره» و«الاستنتاجات المصطنعة» تظهر في هذا الكتاب حاملة الوصف البريء الذي يقول ان هذه المصطلحات شيء واضح، أو يمكن اعتباره أمراً مسلماً به».

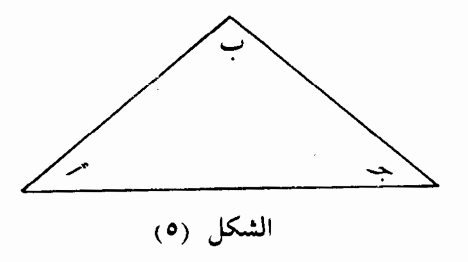
وفي عام ١٩٠٠ ظهر مفهوم جديد للهندسة حرم «الفلسفة في حالتها المعزولة» («الميتافيزياء») من مثلها المفضل، وجعلت الوحدة بين العلم والفلسفة أمراً ممكناً. والواقع أن هذا التغير في المفهوم كان تغيراً حاسماً في العلاقة بين العلم والفلسفة. وليس من قبيل المصادفات أن تغيرات عظيمة قد طرأت على الفيزياء في ذلك الوقت، مثل رسوخ نظرية النسبية ونظرية الكم، اللتين اقتضيتا تصحيحاً أساسياً لأفكارنا التقليدية بشأن العلم والفلسفة.

٢ ـ «المبادىء الجلية» و«الوقائع المرئية» في الهندسة

سوف نناقش الآن الانتقال من المفهوم التقليدي للقرن التاسع عشر حيث كان العلم متوجاً بقطعة من «الفلسفة المنفصلة» إلى مفهوم القرن العشرين، الانتقال من دور البديهيات «كمبادىء جلية» إلى دورها في القرن العشرين. ويمكن توصيف وجهات العلم المختلفة وفقاً لما تنسبه إلى المشاهدة الحسية. وإلى التفكير المنطقي، وإلى الخيال الخلاق. ولكي نفهم ذلك، يحسن أن نحاول أن نتناول علماً معيناً ونفهمه فهماً تاماً. وفي هذا الصدد سوف نختار الهندسة المستوية. وقديماً قيل

«إذا فهمت ورقة واحدة من أوراق الأعشاب فسوف تفهم الكون جميعاً». ومن ثم فإننا إذا فهمنا بنية العلم في الهندسة المستوية فإننا سوف نتقدم كثيراً في فهم هذه البنية في علوم أخرى.

ومن الجيد أن تبدأ بمجال يمكنك في الظاهر أن «تثبت» فيه قدراً كبيراً. ولا ينكر أحد أن البرهان المنطقي يلعب دوراً كبيراً في علم الهندسة. وإذا فهمنا ما هو الدور الذي يلعبه البرهان المنطقي في الهندسة. وإذا فهمنا ما هو الدور الذي يلعبه في العلوم بوجه عام. وهنا يثار السؤال: كيف نثبت في علم الهندسة حقائق يمكن تدقيقها بالمشاهدة الحسية؟ إننا نبدأ «ببديهيات» معينة يقال عادة إنها نصوص غنية عن البرهان. ثم نحاول بعد ذلك أن نستنبط من البديهيات نصوصاً تسمى «نظريات» وذلك عن طريق الاستنتاج المنطقي. وفي دراسة الهندسة يبدأ الطالب في أولى مراحله بالتمييز بين «المبادىء الجلية» (البديهيات) والحقائق المشهودة ـ وهو في هذا الصدد لا يحتاج إلى أن يدرس فلسفة أرسطو. ففي التعليم العادي للهندسة يتكون لدى الطالب انطباع بوجود توافق معين بين ما يمكن إثباته وبين ما يمكن مشاهدته بالتجربة. ولنعتبر المثلث التالي على سبيل المثال:

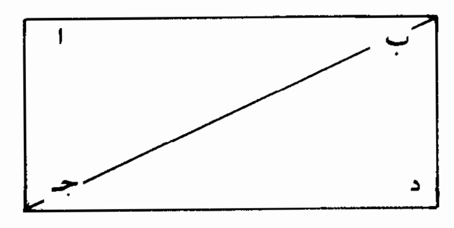


الشكل (٥)

لدينا آ + ب + جـ = ١٨٠° في أي مثلث. ويتعلم الطالب كيف يثبت ذلك ثم يستخدم الطالب بعد ذلك منقلة (أداة قياس الزوايا) ويقيس مجموع الزوايا فيجد أنه يساوي ١٨٠° على وجه التقريب فيتولد لديه انطباع بوجود توافق معين بين التفكير المنطقي والطبيعة وتتولد هذه الفكرة في حقيقة الأمر من خلال الطريقة التقليدية لتعليم الهندسة. وبمجرد أن يكتسب الطالب هذا الانطباع في الهندسة، فإنه يواصله بعد ذلك في الفيزياء، فهو يتعلم في الفيزياء بعض البراهين التي تختلط فيها الاستنتاجات المنطقية بنتائج التجارب اختلاطاً يتعذر معه حتى على الطالب الذكي أن يفهمها. فهناك تفترض إحدى النظريات، ثم يستنبط منها نظرية

أخرى، غير أن النظرية الأولى غيرمؤكدة، مثلها في ذلك مثل النظرية الثانية. وإذا تم شرح ذلك بطريقة سليمة فلن يترتب عليه تشويش. ويمكن في الهندسة أن يبرز من بادىء الأمر ما هو الذي يمكننا إثباته وما هو الذي لا يمكننا إثباته. وما هو «المبدأ الجلي»؟ إننا يمكن أن نتعلم كل ذلك من الهندسة.

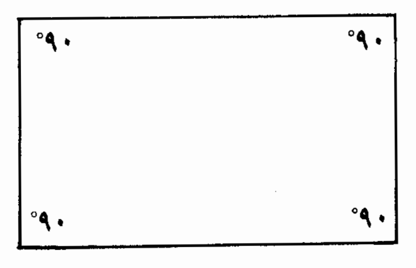
وكثيراً ما تبدو بعض النصوص في حد ذاتها غير «جلية» أو في غنى عن البرهان، إلا أن بعض نتائجها الطبيعية تبدو معقولة بل وفي غنى عن البرهان. ويبدو من الوهلة الأولى أن النص بأن مجموع زوايا المثلث يساوي ١٨٠° هو نص مقنع جداً، إلا أن هذا يمكن التعبير عنه بطريقة أخرى تجعله أكثر معقولية فإذا



أ + ب + جـ + د = ٣٦٠°

الشكل (٦)

قسمنا الشكل الرباعي ا ب جـ بالقطر ب جـ إلى مثلثين وإذا كان مجموع كل من هذين المثلثين ١٨٠° فإن مجموع زوايا الشكل الرباعي يكون ٣٦٠°. ومن ثم يمكننا أن نضع السؤال حيث تتساوى الزوايا آ ، ب، جـ، د، أي حيث تكون آ= ب= جـ = د. وعلى هذا فإن كلاً من هذه الزوايا تكون زاوية قائمة ويكون لدينا شكل مستطيل.



الشكل (٧)

ومن ثم فإن النص بأن «مجموع زوايا المثلث ١٨٠ » يترتب عليه أننا يمكن أن نرسم شكلاً مستطيلاً. والأشكال المستطيلة هي على أية حال أشكال معقولة تماماً بالنسبة لنا. إننا سوف نحجم عن أن نصدق أنه لا يمكن أن توجد أشكال مستطيلة أو مربعة. إن وجود المستطيلات يمكننا من بناء جدار من اللبنات دون وجود فراغات في الجدار ولولا المستطيلات لما أمكننا أن نبني بالطريقة المعتادة ـ لقد كان ذلك حرياً بأن يغير كل طريقة حياتنا. ويمكننا أن نتبين أن النظرية الخاصة بمجموع زوايا المثلث هي نظرية وثيقة الصلة بحضارتنا التقنية.

إن لدينا انطباعاً بأن هذه القوانين الهندسية قد استنبطت استنباطاً منطقياً. هذا من جانب، ومن جانب آخر فإن هذه القوانين تبدو قوانين «للمهارة» التقنية. وهذا يدعم فكرة أن الإنسان يجب أن يتصرف بطريقة يمكن استنباطها من المبادىء الجلية. والإيمان بأن بمقدورنا أن نستنبط حقائق اختيارية من المبادىء الجلية يمثل جزءاً هاماً من نسيج أفكارنا. ومن المهم جداً أن نختبر مدى صحة هذا القانون أو عدم صحته في الهندسة. ولا توجد الهندسة إذا لم توجد البديهيات. فكل شيء في الهندسة إنما يبدأ من الديهيات. وقليلاً ما تعنى الكتب الدراسية في الهندسة بالإجابة عن السؤال: كيف لنا أن نعرف ما إذا كانت البديهيات صحيحة؟ ولا ينتمي هذا السؤال إلى الرياضيات، كما أنه لا يدرس في أي مجال آخر من المجالات المعروفة في العلم. وقد تطوع كثير من مدرسي الرياضيات بالإجابة عن السؤال بأن قالوا إنه لا معنى له. وهذا صحيح من وجهة النظر الرياضية البحتة، حيث أنه لا توجد طريقة رياضية لدراسته. إلا أنه يمكن دراسته بطريقة أخرى كما سنرى فيما بعد.

٣ ـ ديكارت وميل وكانت

سوف نناقش ثلاثة آراء مختلفة بشأن أسس الهندسة. يرجع أحد هذه الآراء إلى عهد أفلاطون وأرسطو ـ إلى فكرة المبادىء الجلية. وبعبارة أخرى، يمكننا ببصيرة شبه نافذة أن نرى «بعين العقل» أن البديهيات صحيحة. وربما كان خير وصف لذلك هو ما جاء على لسان الرياضي والفيلسوف الفرنسي ديكارت[١٦]. فهو يرى أن النص بأن مبادىء معينة في غنى عن البرهان معناه أنك إذا فهمت هذه المبادىء فهماً جيداً فسوف تفهم أيضاً أنها مبادىء صحيحة. قال ديكارت «يمكنني (بأن أتخيل مثلثاً) أن أشرح بعض الصفات التي تثبت صحتها فيما بعد (بالمشاهدة)

ويترتب على ذلك أن هذه الصفات تنبع من جوهر المثلث. ويجب أن يستوعب عقلي هذا الجوهر، وإلا فسوف يتعذر علي شرح تلك الصفات». تلك مدرسة فكرية تسمى «المذهب العقلي» (rationalism) (القائل بأن العقل هو الحكم في قضايا الفكر والمعتقد والسلوك)ـ وبمقتضاه يستطيع المرء بقوة عقله أن ينفذ، مثلاً، إلى جوهر المثلث. كتب ديكارت يقول:

إنني اكتشفت خصائص بشأن الرسوم، والأعداد، والحركة وما إليها وهي خصائص تتضح صحتها، وتتفق مع طبيعتي، بحيث إنني عندما اكتشفها الآن لا يبدو كثيراً أنني اتعلم منها شيئاً جديداً أكثر من أنني استعيد إلى ذاكرتي ما كان كامناً من قبل في ذهني، بل ما لم أوله انتباهي حتى الآن....

وبعكس ما يقول به «المذهب العقلي» لديكارت، فإن «المذهب التجريبي (empiricism) (القائل بأن المعرفة كلها مستمدة من التجربة) يدعي بأنه ما من مبادىء يمكن تعزيز صحتها بقوة العقل فقط. وطبقاً لما يراه الفيلسوف التجريبي، جون ستيوارت ميل، فإن البديهيات هي نصوص تجريبية مثل غيرها من النصوص، وهي لا تختلف عن غيرها من النصوص إلا في كونها أبسط وأوسع في قاعدتها. وعندما يتحدث رجل المذهب العقلي عن المثلث فإنه يشير إليه كشيء من صنع خيالنا، أما رجل المذهب التجريبي فيشير إليه باعتباره شيئاً مادياً. وكل من هذين الوجهين للمثلث صحيح على نحو ما، وإلا لتعذر علينا أن ندقق المبادىء بواسطة الحقائق. وبعد مائتي عام من ديكارت كتب جون ستيوارت ميل في كتابه «A system of Logic» عام ١٨٤٣ يقول[١٧]:

إن الدقة الغريبة المفترض أن تتميز بها المبادىء الأولى للهندسة تبدو دقة خيالية. وعندما يتم التأكيد على أن استنتاجات الهندسة هي حقائق ضرورية، فإن الضرورة في الواقع تتمثل فقط في أنها مترتبة على الافتراضات التي استنبطت منها هذه الاستنتاجات. وهذه الافتراضات بعيدة أن تكون ضرورية، بل إنها ليست صحيحة. إنها تكاد تنأى عامدة عن الحقيقة.... ويبقى أن نتساءل ما هو أساس إيماننا بالبديهيات ـ ما هو البرهان الذي ترتكز عليه ـ إنني أجيب عن ذلك قائلاً: إنها حقائق تجريبية، وهي تعميمات من المشاهدات. إن الفرض بأن: لا يمكن لخطين مستقيمين أن يسيجا مساحة (صيغة أوقليد للبديهية القائلة بأن «أي نقطتين لا تعينان سوى خط مستقيم واحد»)، هذا الفرض هو استقراء من برهان حواسنا[١٨].

نرى أن بديهيات الهندسة التي اعتبرت أوضح مثال «للمبادىء الجلية» لأرسطو، هي في رأي ميل التجريبي نتائج للمشاهدات الحسية. ومن ناحية أخرى، فإن النتائج المستخلصة من المبادىء هي من إفراز عقلنا. ويبدو أن رأي العقليين ورأي التجريبيين يعني كل منهما شيئاً مختلفاً عما يعنيه الآخر، ولكنهما موجودان. فما هي الصلة بين مثلث تخيلي وبين شيء مادي؟ إن صاحب المبدأ العقلي يظن أنه يستطيع العثور على صفات المثلث بأن «ينظر بعيني العقل إلى المثلث». ولكن من الواضح أن هذا العقل إنما يستطيع فقط أن ينظر إلى مثلث تخيلي وليس إلى مثلث مادي ينتمي إلى عالم الأشياء المادية. ومن ناحية أخرى فإن صاحب المذهب التجريبي يظن أنه يحصل على صفات المثلث بأن ينظر إلى مثلث مادي بأعضائه الحسية. فكيف لنا أن نعرف إذن أن الفروض الهندسية أكثر يقيناً عن أية نتيجة للمشاهدات الحسية؟

وقد وجد ايمانويل كانت[١٩] مخرجاً من هذه الورطة لا بد أن نسميه مخرجاً عبقرياً. فهو يجزم بأن أعضاءنا الحسية، أي العيون، لا ترى المثلث الحقيقي الموجود في العالم الخارجي. فهذا المثلث الحقيقي، أي «الشيء في حد ذاته» كما سماه كانت، لا يمكن أن تصل إليه أعضاؤنا الحسية. فإذا نظرنا إلى شيء، فإننا نراه بطريقة تحددها صفات عقولنا. إن ما نسميه في لغتنا المعتادة «بالمثلث المنظور» هو نتيجة التعاون بين المثلث الحقيقي وعقولنا. فعقولنا مسؤولة عن الإطار الذي نرى من خلاله كل شيء خارجي. ومعنى هذا أن ما يسميه صاحب المذهب التجريبي «مثلثاً حقيقياً» نراه بحواسنا في حقيقة الأمر «مثلثاً تخيلياً» ومن ثم فليس من المستغرب أن تكون أعين عقولنا قادرة على رؤية صفاته. فالصفات الهندسية هي في الواقع صفات المثلث الذي نتخيله، بينما صفات المثلث الحقيقي مجهولة، بل ربما لا تكون موجودة. وطبقاً لكانت، فإن معرفة الصفات بعقولنا أمر ممكن فقط إذا افترضنا أن هذه الصفات ليست صفات المثلث الحقيقي. ويقول كانت: «يمكننا بالبصيرة الحسية أن نعرف الأشياء كما «تبدو» لنا (لحواسنا)، وليست كما هي في حقيقتها، وهذا الافتراض ضروري ضرورة قصوى إذا اعتبرت الفروض الاصطناعية أمراً ممكناً».

سميت هذه الفكرة الجديدة باسم «المثالية الحرجة» وقد أطلق عليها كانت

ومدرسته هذا الاسم. وكلمة «المثالية» تشير إلى رأي عالمي يقول بأن نتائج مشاهداتنا الحسية صور لأشياء حقيقية. وقد لا يكون لهذه الأشياء وجود على الاطلاق، أو قد تكون مختلفة تماماً عن المظهر الذي تبدو لنا به. أما الرأي الأول الذي ينكر حقيقة دنيا تجاربنا فيسمى فقط «بالمثالية» ويؤكد رأي كانت على أن العالم الخارجي موجود في حد ذاته، إلا أنه يبدو لنا على نحو تحدده طبيعة عقولنا. ويسمى هذا الرأي «بالمثالية الحرجة».

وقد أفرز القرن العشرون فيما يتصل اتصالاً وثيقاً «بالعلم بمعناه المحدد»، مفهوماً جديداً لموضع البديهيات الهندسية يتشرب بعض عناصر المذهب العقلي والمذهب التجريبي ومذهب المثالية الحرجة، غير أن هذا المفهوم قد حاول قدر المستطاع أن يتخلص من المفاهيم غير الضرورية.

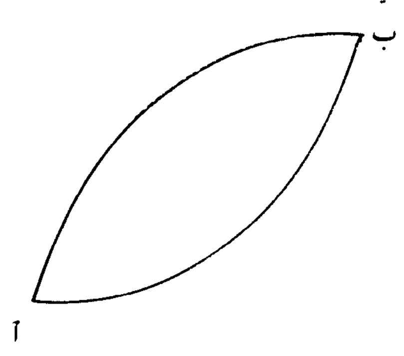
٤ ـ «البديهيات» و«النظريات»

سوف نتناول كيف كان يتم برهان نظريات الهندسة تقليدياً، وعلى سبيل المثال سوف نعتبر النظرية القائلة بأن مجموع زوايا المثلث يساوي زاويتين قائمتين. وسوف نرى أن ذلك يتصل اتصالاً وثيقاً بالنص القائل بأن هناك مثلثات متشابهة، أي أن للمثلثين نفس الزوايا ولكن أطوال أضلاعهما مختلفة. ويعتبر وجود المثلثات المتشابهة واحدة من الأفكار الأساسية التي تقربنا من العالم الخارجي، وهي تفسر إمكانية وجود مثلثات لها نفس الشكل ولكن مساحتها تختلف. وبناء عليها تولد إيماننا بأن الشيء الحقيقي الصغير الحجم يمكن تكراره على حجم أكبر، والعكس صحيح. ونحن نصدق ذلك على نحو غاية في السذاجة.

فليس هناك طالب يسهل عليه أن يشك بأن يبين مدرسه أنه حقيقة بالنسبة للمثلث المرسوم على السبورة هو أيضاً حقيقي بالنسبة للمثلث الكبير الحجم والذي يتعذر رسمه على السبورة.

وقبل أن نشرع في مناقشة الموضوع فلنشحذ معلوماتنا عن الهندسة المستوية ويمكننا أن نبدأ بالبديهية التي تنص على أنه: إذا كانت لدينا نقطتان آ، ب، وكان لدينا خطان مستقيمان يصل كل منهما النقطة آ بالنقطة ب، فإنه «لا توجد مساحة بين هذين «الخطين» وذلك بتعبير أوقليد[٢٠] وبعبارة أخرى، إذا كانت هناك

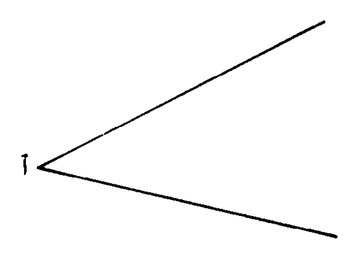
نقطتان آ، ب فإنه لا يوجد سوى خط مستقيم واحد يصل بينهما. وهذه إحدى البديهيات الأولى في الهندسة الأوقليدية.



الشكل (٨)

ما هي النقطة؟ وما هو الخط المستقيم؟ إن كلاً منهما يرد تعريفه في الهندسة العادية عادة بطريقة مبهمة. فالنقطة هي ما لا يتجزأ. ولهذا الكلام معنى من الناحية الحدسية، إلا أنه يتعذر علينا استخدام هذا المعنى. وسوف نعود إلى هذا الموضوع فيما بعد. وليس لدينا في الوقت الحالي سوى فكرة مبهمة عن النقط والخطوط.

ومع ذلك، يمكننا أن نسأل فوراً: هل هذه البديهية التي وصفناها للتو غنية عن البرهان أم أنها ليست كذلك؟ إنها ليست غنية عن البرهان بالدرجة التي تبدو عليها لأنها تعني أنه: لا يمكن للخطين اللذين ينفرجان من نقطة أن يتلاقيا مرة ثانية.



الشكل (٩)

وإذا تأملنا في الأمر، فإنه يبدو في أول الأمر أن هذا أمر واضح من الناحية الحدسية، ولكن ترى إلى أي مدى يمكن أن يمتد خيالنا تجاه تخيل الخطوط المستقيمة؟ ويمكنني أن أقول عشرة أقدام على الأكثر. فمن المؤكد أن التخيل الحدسي لا يمكن أن يمتد إلى مسافات بعيدة جداً ونحن في الواقع نستخدم الاستدلال من المسافة المتزايدة بين أجزاء الخطوط. إننا نتخيل أن المسافة بينها سوف تستمر في التزايد. ولكن هذا يؤدي بنا إلى حلقة مفرغة: فهو يحمل نفس المعنى ـ وهو أن الخطين المنفرجين لا يلتقيان أبداً. وإذا تتبعنا «خطين مستقيمين» على سطر الأرض فإنهما سوف يلتقيان على الجانب الآخر من الأرض. لقد كان الأمر واضحاً عندما كنا نظن أن الأرض مستوية. ولكننا نعرف الآن أن ذلك وهم باطل ـ فليست هناك طريقة يمكن أن نميز بها بين جزء صغير من سطح كرة كبيرة وبين سطح مستو. ومن ثم فإننا لا نعرف حقاً ماذا سيحدث لهذين الخطين المنفرجين عندما يضطرد تزايد امتدادهما؛ فليس هناك برهان حدسي على انهما لن يتلاقيا مرة ثانية. ومن ثم فإن بديهيتنا هي نظرية بشأن سلوك الخطوط المستقيمة.

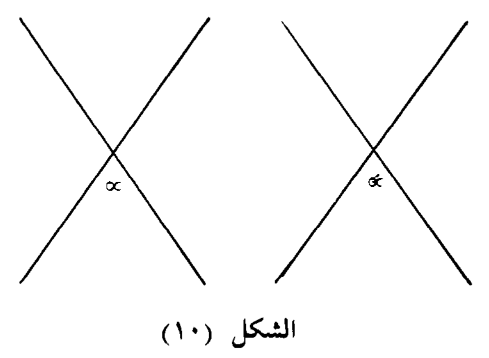
والأمر ينطوي على صعوبة أخرىٰ أكثر تعقيداً: فقد يقول امرؤ إن الخط الذي يعود ليلتقي بنفسه ليس خطاً مستقيماً، ولكننا إذا عرفنا الخط المستقيم بأنه خط لا يلتقي أبداً بنفسه فإن هذا سيكون نصاً من نوع الحشو والتكرار الذي لا يضيف جديداً إلى المعنى ـ وكأنه يقول إن الخط المستقيم هو الخط المستقيم. وإذا كانت هذه البديهيات مجردتعريفات فقط فلن نستطيع أن نستنبط منها أبداً حقائق مادية. ومن ثم فهناك وجهان للبديهيات الهندسية ـ «تعريفات بحتة» و«نظريات حول أشياء مادية». ونحن نرى بالفعل كل الصعوبات الماثلة في هذه البديهية الأولى.

ويلاحظ أننا نستطيع أن نستنبط من البديهية الأولى أن كل خطين مستقيمين إما أن يشتركا في نقطة واحدة فقط أو لا يشتركا في أي نقطة.

وننتقل الآن إلى مفهوم «التطابق». افترض أن لدينا خطاً مستقيماً (د) يحتوي على النقطتين آ، ب، وأن لدينا خطاً آخر (دَ) يحتوي النقطتين آَ، بَ. فماذا نعني عندما نقول إن المسافتين آب، آب «متطابقتان»؟ إذا أمكن انطباق المسافتين كل على الأخرى قيل إنهما متطابقتان. وذلك ينطوي على افتراض مسبق بأننا نعرف

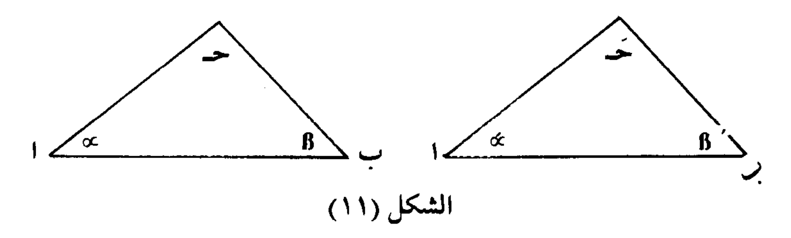
ماذا يعني نقل شيء لينطبق على شيء آخر ـ وبعبارة مبسطة، أننا نعرف أن المسافتين لم يطرأ على طول أي منهما تغيير أثناء الحركة، الأمر الذي يعني أنهما يظلان متطابقتين. وهذا يزج بنا مرة أخرى في حلقة مفرغة. إن لدينا فكرة محددة عن الجسم الصلب؛ ويمكننا تعريفه من خلال خواصه الفيزيائية: المرونة، والصلابة، . . . . ويمكننا عندئذ أن نعرف «التطابق» بواسطة نقل جسم صلب من موضعه إلى موضع آخر. فيقال إن القطعتين متطابقتان إذا أمكن تحريكهما. كقضيبين «صلبين» لتنطبق إحداهما على الأخرى.

ولدينا أيضاً مفهوم الزوايا المتطابقة. ففي الشكل التالي. شكل (١٠) تتحدد الزاوية بواسطة خطين مستقيمين. تكون الزاويتان متطابقتين إذا أمكن وضع الخطين اللذين يحددان كلاً منهما فوق بعضهما في حالة انطباق. ويكون المثلثان متطابقين إذا تطابقت كل الضلوع والزوايا في أحدهما مع كل الضلوع والزوايا في المثلث الآخر. وعندئذ يمكن أن يوضع أحد المثلثين على الآخر في حال انطباق.



الشكل (١٠)

وعلى هذا يمكننا أن نضع نص النظرية الأولى في التطابق. اعتبر أن لدينا مثلثين آب حـ، آَ بَ حَـ:

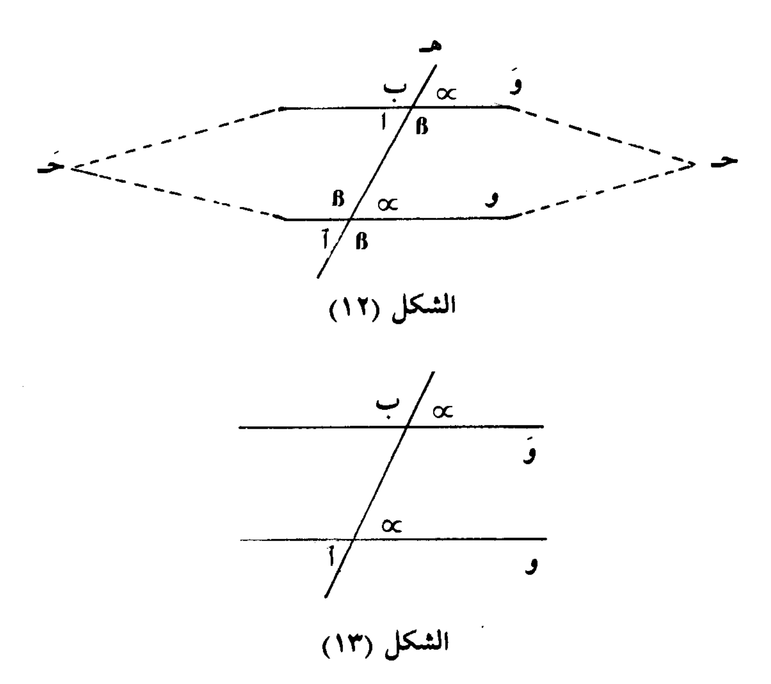


الشكل (١١)

افترض أن آ ب = آبَ وأن الزاوية حـ آ ب (∝) = الزاوية حَـ آَ بَ وأن الزاوية حـ ب آ (ß) = حَـ بَ آَ (حيث تشير العلامة = إلى التطابق). وهذا يعني أنه يمكننا نقل المثلث آ ب حـ لينطبق على المثلث آَ بَ حَـ بحيث ينطبق الخط آ ب على آَ بَ وينطبق الخط آ حـ على الخط آَ بَ. ولكننا نعلم أن الخطين آ حـ، ب حـ يلتقيان عند حـ. الخطان آَ حَـ، بَ حَـ يلتقيان عند حَـ. لكن حـ لا بد أن تنطبق على حَـ حيث إن البديهية الأولى تنص على أن الخطين المستقيمين يمكن أن يتلاقيا في نقطة مشتركة واحدة فقط (أو لا يتلاقيان). ومن ثم فإن المثلث آ ب حـ = المثلث آَ بَ حَـ. ومعنى هذا أننا يمكننا أن ننقل المثلث آ ب حـ لنضعه منطبقاً على المثل آَ بَ حَـ. ومن ثم فإنه إذا كان آ ب = آَ بَ و∝ = ∝، ß=´ß فإن المثلثين يكونانمتطابقين. وهذه هي النظرية الأولى للتطابق.

٥ - بديهية اوقليدس للمتوازيات

اقتربنا الآن من أن نستطيع إثبات أن مجموع زوايا المثلث يساوي زاويتين قائمتين، غير أننا يجب أن نثبت أولاً نظرية هامة حول الشروط الواجب توافرها لكي لا يتقاطع خطان مستقيمان. اعتبر خطاً مستقيماً (هـ) يقطعه خط مستقيم آخر (و) عند النقطة آ بزاوية قدرها ∝. واعتبر أن الخط هـ يتقاطع أيضاً عند نقطة ب مع خط آخر (وَ) بزاوية قدرها ∝. (انظر الشكل ١٢). نريد أن نثبت الآن أن الخطين (و)، (وَ) المرسومين على هذا النحو لا يمكن أن يلتقيا. فكيف نثبت ذلك؟ فلنفترض أنهما يتلاقيان عند النقطة حـ على يمين الخط هـ. ومن ثم يكون لدينا مثلث آ ب حـ. وباستخدام النظرية القائلة بأن الزاويتين القائمتين هما زاويتان متطابقتان (وتلك نظرية لم نثبتها)، ثم باتباع نفس طريقة البرهان السابق يمكننا أن نرى أنه لا بد أن يكون هناك مثلث آخر آ ب حَـ على يسار الخط هـ وأن يكون هذا المثلث متطابقاً مع المثلث آ ب حـ. وعلى هذا فإن الخطين (و) و(وَ) إذا التقيا عند نقطة على أحد جانبي الخط هـ فلا بد أن يلتقيا أيضاً على الجانب الآخر. ولكن هذا مستحيل إذ ستكون هناك نقطتان حـ، حَـ يصل بينهما خطان مستقيمان و، وَ. وعلى هذا فإن الخطين و، وَ لا يمكن أن يتلاقيا.



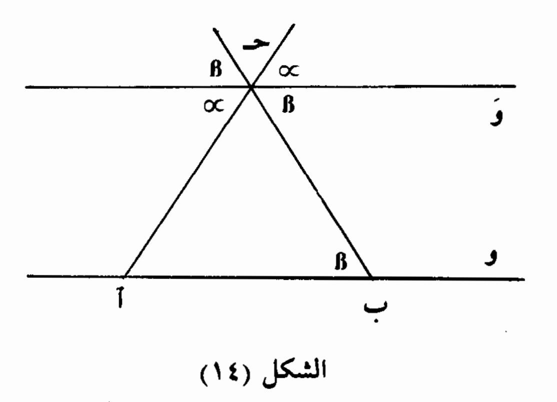
الشكل (١٢)

الشكل (١٣)

كيف يمكننا الآن أن نثبت أن مجموع زوايا المثلث ١٨٠°؟ لاحظ أن البرهان السابق لم يبين أن الخطين و، وَ لا يمكن أن يتلاقيا في حالة واحدة فقط هي أن الخطين يقطعان الخط هـ بنفس الزاوية $\propto$. والخط وَ يمكنه أيضاً أن يقطع الخط هـ بزاوية $\propto$ (لا تساوي زاوية التقاطع $\propto$ للخطين و، هـ)، ومع ذلك فإن و، وَ قد لا يتلاقيان. ولكي نستنبط الفطرية الخاصة بمجموع زوايا المثلث لا بد، على أية حال، أن نستخدم الفرض بأن الحالة الوحيدة التي لا يتلاقى فيها الخطان و، وَ هي عندما يقطعان خطاً مثل هـ بنفس الزاوية $\propto$ (انظر الشكل ١٣). وعندئذ نقول إن وَ «متواز» مع و. وفرضنا المشار إليه يسمى «بديهية أوقليد» أو «بديهية المتوازيات». وتنص هذه على أن هناك خطاً مستقيماً واحداً فقط هو الخط وَ يمكن رسمه من النقطة ب الواقعة خارج الخط المستقيم وبحيث يكون الخطان «متوازيين». وكل من الخطين و، وَ يقطعان الخط هـ بنفس الزاوية $\propto$.

يمكننا الآن أن نثبت النظرية الخاصة بمجموع زوايا أي مثلث. اعتبر المثلث آ ب حـ، وارسم خطاً موازياً لقاعدته آ ب ماراً برأسه حـ. بما أن و يوازي وَ، فإن

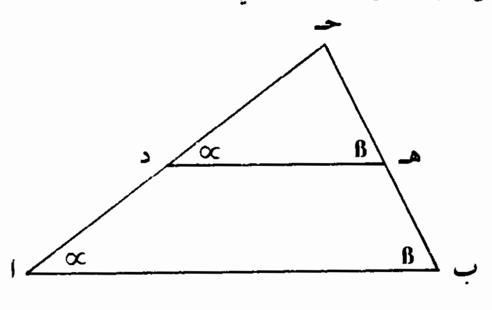
آ حـ يقطع و، وَ بزاويتين متطابقتين ∝ (انظر الشكل ١٤). والخط ب حـ يقطع و، وَ بزاويتين متطابقتين ß. وبما أن وَ خط مستقيم فإن مجموع الزوايا ૪ + ∝ + ß = ١٨٠° أي زاويتين قائمتين. ولكن هذه هي نفس الزوايا في المثلث، وعلى هذا فإنه بالنسبة لأي مثلث نجد أن مجموع زواياه سوف تساوي ∝ + ß + ૪ = ١٨٠° كما للزاويتين القائمتين. ومن الواضح أننا احتجنا إلى استخدام بديهية أوقليد لكي نصل إلى هذه النتيجة. وقد اثبتنا أولاً أنه إذا قطع خطان و، وَ خطاً ثالثاً هـ بنفس الزاوية ∝ فإن الخطين و، وَ لا يمكن أن يتلاقيا. ولكننا في برهاننا الراهن قد استخدمنا النظرية القائلة بأنه إذا لم يتلاق خطان و، وَ فإنهما يجب أن يقطعا خطاً ثالثاً بنفس الزاوية. وإلا فإن خطاً آخر وً يمكنه أن يقطع هـ بزاوية مختلفة ومع ذلك لا يلتقي أبداً مع و. ولكي ننفي هذا الاحتمال يجب أن نستخدم «بديهية أوقلبد»: الخط وَ الذي يقطع الخط هـ بنفس الزاوية مثل الخط و هو الخط الوحيد الذي لا يمكن أن يلتقي بالخط و.



الشكل (١٤)

وهذه نقطة هامة جداً. فالنظرية القائلة بأن مجموع زوايا المثلث ١٨٠° تفترض مسبقاً بديهية أوقليد. وهي تلعب دوراً معيناً لأسباب مختلفة. وسوف نرى أنه إذا لم تكن هذه البديهية مقبولة فإن القانون الخاص بمجموع زوايا المثلث لن يكون وحده هو الذي سينهار، ولكن جانباً كبيراً جداً من فكرتنا عن الكون سوف ينهار أيضاً. لقد سبق أن ذكرت المفهوم القائل بأن كل شكل توجد له أشكال مشابهة. ومن السهل أن نثبت ذلك إذا افترضنا بديهية أوقليد، اعتبر المثلث آ ب حـ (الشكل ١٥). ومن النقطة د على الضلع آ حـ ارسم موازياً للقاعدة

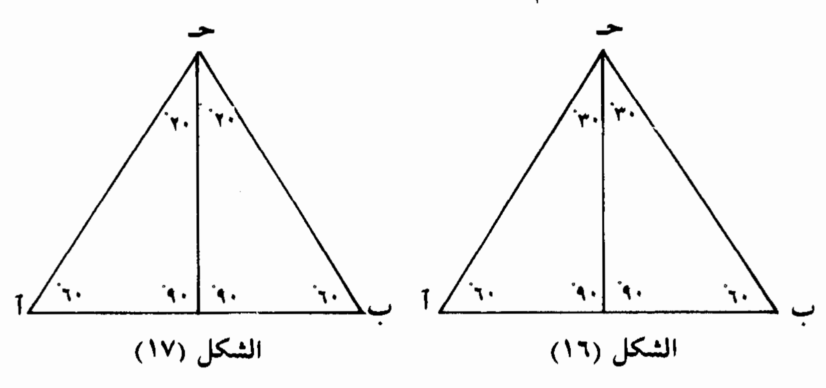
آ ب. إذا افترضنا صحة بديهية التوازي، فإن زاويتي القاعدة في المثلث الصغير حـ د هـ تكونان متساويتين على الترتيب مع زاويتي القاعدة في المثلث الكبير حـ آ ب. وبما أن مجموع زوايا أي مثلث ١٨٠°، فإننا نحصل على مثلث صغير حـ د هـ له نفس زوايا المثلث الكبير حـ آ ب. والمثلثان لهما نفس الشكل. ولكنهما يختلفان في الحجم. وإذا كنا لا نعرف أن بديهية التوازي صحيحة، أو إذا كنا نعرف أنها غير صحيحة، فإننا لا يمكننا أن نحصل على هذا البرهان. ومن ثم فإن كانت بديهية التوازي غير صحيحة فإننا لا نستطيع أن نثبت وجود الأشكال المتشابهة. وكل من هذين الشيئين يلغي أحدهما الآخر.



الشكل (١٥)

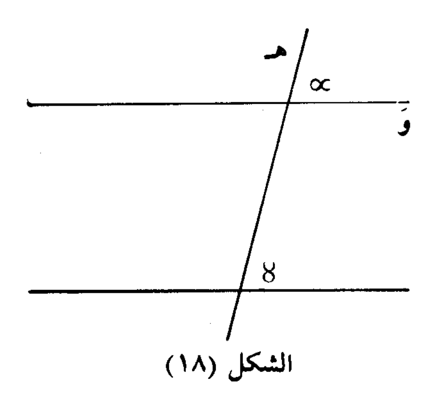
هل تستطيع أن تثبت أن بديهية التوازي صحيحة؟ من الواضح أننا لا نستَطيع ذلك وإلا لما كانت بديهية. ومن المنطقي عندئذ أننا يمكنا أن نضع بديهية مختلفة. فإذا كان مجموع زوايا المثلث لا يساوي ١٨٠° فما الذي يترتب على ذلك؟ هناك أمر يمكننا أن نتبينه دون حساب يذكر. ولنعتبر مثلثاً متساوي الأضلاع آ ب حـ (الشكل ١٦) فإذا كان مجموع زوايا المثلث ١٨٠° فإن الزاوية آ ب حـ = ٦٠°. ولنقسم المثلث إلى جزءين متساويين بأن نسقط منصف الزاوية من الرأس حـ. وسؤالنا الآن هو: هل مجموع الزوايا في كل من المثلثين الصغيرين هو نفس المجموع في المثلث الكبير. والإجابة هي نعم لأن ٦٠° + ٣٠° + ٩٠° = ١٨٠°. وإذا افترضنا أن مجموع الزوايا في مثلث ليس ١٨٠° فسوف نرى أن مجموع الزوايا في أي من المثلثين الصغيرين يختلف تماماً عن هذا المجموع في المثلث الكبير. اعتبر مرة أخرى مثلثاً متساوي الساقين حيث زاوية القاعدة = ٦٠° (الشكل ١٧) ولنفترض أن مجموع زوايا المثلث هو ١٦٠°، فتكون الزاوية آ حـ ب = ٤٠°. فإذا

قسم هذا المثلث إلى جزءين متساويين بإسقاط نصف الزاوية حـ على القاعدة آ ب فسوف نرى أن مجموع الزوايا في كل من المثلثين الصغيرين يساوي فقط ١٧٠°. وإذا واصلنا هذه العملية فسوف نرى أن مجموع الزوايا في المثلث الصغير يقترب من ١٨٠° كلما صغر حجم المثلث.



الشكل (١٦)　　　الشكل (١٧)

وفي حالة ما يكون مجموع زوايا المثلث أقل من ١٨٠°، فبدلاً من أن نذكر هذا المجموع فلنذكر الفرق بينه وبين ١٨٠° ـ وهو ما نسميه «الخلل» (defeet) أي أن الخلل [١٨٠ - (∝ + ß + ϒ)]. ففي المثلث الكبير المبين بالشكل (١٧) يكون الخلل ٢٠°، أما الخلل في كل من المثلثين الصغيرين فهو ١٠° فقط. وهناك علاقة بسيطة بين مساحة المثلث والخلل في هذا المثلث. فمساحة كل من المثلثين الصغيرين في المثال السابق هي نصف مساحة المثلث الكبير، والخلل في كل من المثلثين الكبيرين هو نصف الخلل في المثلث الكبير. ويقترب الخلل من الصفر في المثلثات الصغيرة جداً. ففي المثلثات الصغيرة جداً يكون الحال كما لو كانت بديهية أوقليد صحيحة. ويمكن إثبات ذلك بطريقة عامة جداً؛ وقد أوردنا هنا فقط بعض الأمثلة لتوضيح ذلك. فإذا لم تكن بديهية أوقليد صحيحة فلن تكون هناك مثلثات متشابهة، ولكن حال المثلثات الصغيرة سيكون مختلفاً عن حال المثلثات الكبيرة. ولهذا السبب سوف يكون من الصعب جداً أن نستخدم القياسات لندقق ما إذا كان مجموع الزوايا هو عموماً ١٨٠°.

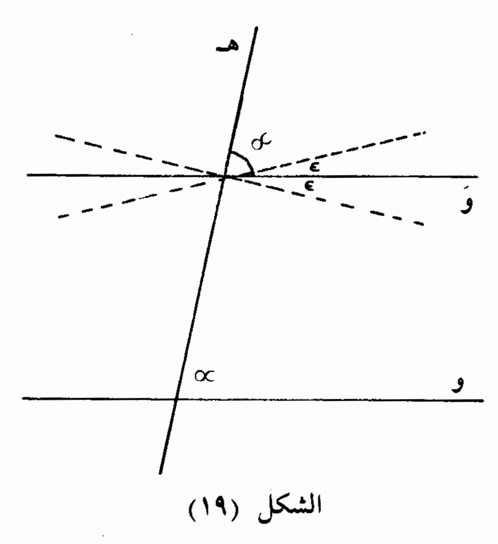


الشكل (١٨)

٦ ـ الهندسة غير الأوقليدية[٢]

سوف ندرس إمكانية الاستغناء عن بديهية أوقليدس. فما هو الذي نستبدله بها؟ إننا إذا قبلنا بديهية أوقليدس فإن الهندسة المبنية عليها تسمى بالهندسة الأوقليدية. وإذا نبذنا بديهية أوقليدس وأحللنا محلها بديلاً عنها فإن الهندسة المبنية على هذا البديل تسمى بالهندسة غير الأوقليدية.

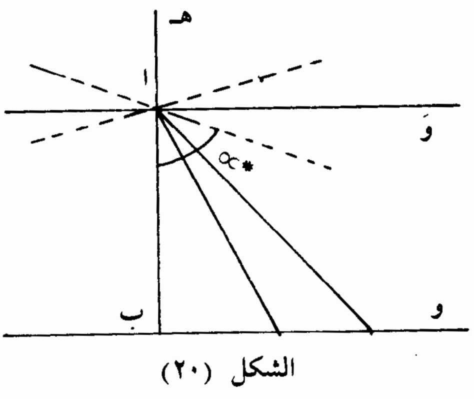
وإذا نبذنا بديهية أوقليدس فإن ما يحدث يمكن أن يكون أحد أمرين. إن هذه البديهية تقضي بأن الخط المستقيم الذي يفارق المستقيم (وَ) من أي من جانبيه بأصغر زاوية ممكنة سوف يتقاطع مع الخط (و) الشكل (١٨). والأمر الأول الذي يمكن أن يحدث هو أنه قد لا يكون هناك خط (وَ) لا يتقاطع أبداً مع الخط (و). وهذا يعني، بتعبير آخر، أن كل الخطوط المستقيمة الموجودة لا بد أن تتقاطع. والأمر الثاني الذي يمكن أن يحدث هو أنه من الممكن أن يكون هناك خط يميل على كل من جانبي وَ بزاوية صغيرة جداً (E) بحيث لا يتقاطع هذا الخط مع الخط و. وذلك يعني بتعبير آخر انه يمكن أن تكون هناك «حزمة» من الخطوط ـ الموزعة حول وَ توزيعاً متناسقاً والتي تحدها الخطوط التي تميل على جانبي وَ بزاوية E ـ وأن كل خطوط هذه الحزمة لا تتقاطع، (الشكل ١٩)، سـ ـو النمط من الهندسة غير الأوقليدية. وهو النمط الوحيد من الهندسة غير الأوقليدية الذي سوف نناقشه هنا. سوف نفحص كيف يكون شكل الكون إذا أحللنا هذه الدعوى محل بديهية أوقليد. وهناك أمر أكيد سيترتب على ذلك ـ وهو أن مجموع زوايا المثلث لن يساوي ١٨٠°.



الشكل (١٩)

والنوع الأول الذي ذكرناه عن الهندسة غير الأوقليدية، والذي يزعم بأنه ليست هناك خطوط متوازية وأن كل الخطوط لا بد وأن تتقاطع، هذا النوع يسمى بالهندسة الريمانية (Riemanian). ولا تأخذ هذه الهندسة أيضاً بالبديهية التي تنص على أن هناك خطاً مستقيماً واحداً يصل بين نقطتين معينتين. أما النوع الثاني من الهندسة ـ والذي يدعى أن هناك عدداً لا حصر له من الخطوط المستقيمة التي لا تتقاطع مع و، والتي تنحصر داخل زاوية معينة حول وَ ـ فقد أقامه الرياضي الروسي لوباتشيفسكي(٢٢)، وكذلك العالم المجري بولياي(٢٣) في نفس الوقت تقريباً. حلت «بديهية لوباتشيفسكي» محل بديهية أوقليد» ويمكننا أن نصف النتائج المترتبة على هذه البديهية على النحو التالي: لنرسم خطاً مستقيماً (و) ولنعتبر نقطة آ خارج هذا المستقيم (الشكل ٢٠). ونرسم خطاً مستعرضاً هـ يمر خلال آ ويتعامد مع و، ثم خطاً مستقيماً وَ يصنع زاوية ٩٠° مع هـ. وعلى هذا فإن وَ لن يلاقي و ـ وإذا رسمنا من نقطة آ خطوطاً مستقيمة تصنع مع هـ زاويا أكبر ثم أكبر. ففي البداية سوف تتقاطع هذه الخطوط مع الخط و. وفي نهاية الأمر (إذا استبعدنا حالة أن كل الخطوط المستقيمة لا بد أن تتقاطع ـ «البديهية الريمانية») فسوف نصل إلى خط يصنع زاوية محددة*$\propto$ مع الخط المستعرض هـ بحيث يكون أول خط لا يتقاطع مع و. تكون *$\propto$ أقل من ٩٠°. والخط الذي يصنع هذه الزاوية مع و يسمى «موازياً» للخط و. ويجب في هندسة لوباتشيفسكي أن نميز بين الخطوط

المتوازية والخطوط غير المتقاطعة. فكل الخطوط التي تشملها «الحزمة» حول وَ تسمى خطوطاً غير متقاطعة. أما الخطوط التي تغلف هذه «الحزمة» فهي وحدها التي تسمى خطوطاً متوازية. وهناك في هندسة لوباتشيفسكي خط مواز على يسار الخط المستعرض هـ، كما أن هناك خطاً موازياً آخر على يمينه. ومن ثم فإن من خصائص هندسة لوباتشيفسكي أن هناك خطين موازيين للخط و وليس خطاً واحداً. وكل الخطوط الواقعة بين هذين الخطين هي خطوط غير متقاطعة، أي أنها لا تقطع الخط و.

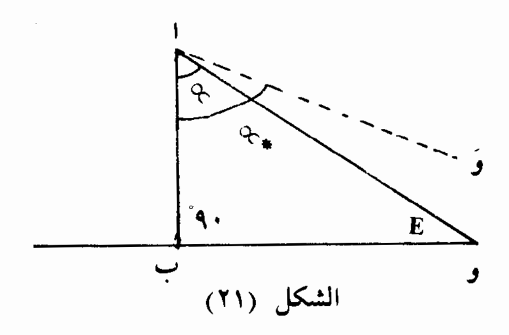


الشكل (٢٠)

ولنريَ الإنسان ما هو مجموع زوايا المثلث في هندسة لوباتشيفسكي. إذا اعتبرنا خطاً مرسوماً من نقطة آ بحيث يصنع مع الخط آ ب زاوية أصغر من *∝، فإن هذا الخط سوف يقطع إذن الخط و. ويمكننا أن نتخير هذا الخط بحيث يصنع زاوية ∝ = *∝ - η، أصغر قليلاً من *∝. مثل هذا الخط سوف يقطع الخط وبزاوية قدرها E وهي زاوية صغيرة جداً بقدر ما نشاء - ومن ثم نرى أن هناك مثلثات يكون مجموع الزوايا فيها أقل من ١٨٠° حيث ان *∝ أصغر من ٩٠° وأن ϵ يمكن أن تكون صغيرة إلى القدر الذي نريده. وهذا واضح منذ البداية إذا عبرنا عن ذلك بمدلول «الخلل». ففي المثال المذكور نجد أن الخلل = ١٨٠° - ٩٠° - (∝ + ϵ) = ٩٠° - (∝ + ϵ). وبما أننا رسمنا الخط الخارج من نقطة آ بحيث يكون موازياً تقريباً للخط و، كما أن كلاً من E ، η متناهيتان في الصغر، ويمكننا أن نعتبر أن الخلل يساوي (٩٠° - *∝)، وهذه كمية موجبة.

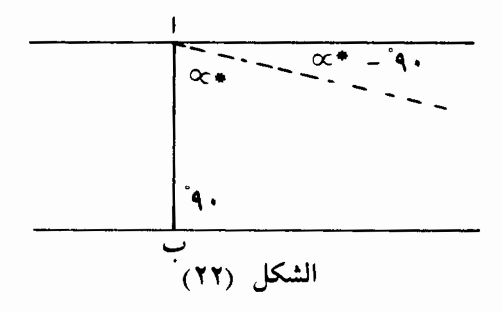
كيف لنا أن نعرف مقدار (٩٠° - *∝)؟ من الواضح أن بديهية

لوباتشيفسكي لا تحدد قيمة الزاوية *∝ التي يصنعها «الخط الموازي» مع الخط و. وهناك عدد لا يحصى من البديهيات تندرج تحت اسم «بديهية لوباتشيفسكي». والخط الموازي للخط و(أي الخط وَ في الشكل ٢١) قد يكاد أن يكون متعامداً مع



الشكل (٢١)

آ ب، كما أنه يمكن أن يصنع مع آ ب أي زاوية. ولنا الحرية في أن نحدد مسبقاً قيمة الزاوية*∝ بالنسبة لكل مسافة محددة (آ ب) بين النقطة آ والخط و. وفي الواقع أن هناك قالباً خاصاً لبديهية لوباتشيفسكي يناظر كل قيمة نختارها للزاوية *∝. فإذا أردنا هندسة تختلف قليلاً عن الهندسة الأوقليدية فإننا نختار الخلل (٩٠° - *∝) بحيث يكون صغيراً. اذا أردنا هندسة مختلفة تماماً فإننا نختار هذا الخلل بحيث يكون كبيراً (انظر الشكل ٢٢). ويمكننا أن نطرح هذا السؤال: عند



الشكل (٢٢)

أي حجم يبدأ المثلث في أن يكون غير أوقليدي بشكل واضح؟ إننا عندما نفحص

مثلثاً مادياً مصنوعاً من مواد صلبة مثل الحديد فإننا لا نلاحظ قط أن قياس الزوايا يعطينا مجموعاً أقل من ١٨٠°، إلا أن ذلك لا يقوم دليلاً على أي شيء. فالمثلثات التي يتم فحصها تكون عادة أصغر من أن يكون الخلل ملحوظاً. وكل ما نستطيع قوله هو أن كل المثلثات التي تم قياسها كانت مثلثات «صغيرة». ويمكننا أن نعرف مفهوم «المثلث الصغير» على أنه صغير بالمقارنة «بوحدة» معينة للمثلثات؛ أن نعرف مفهوم «المثلث الصغير» على أنها المثلث الذي يكون الخلل فيه درجة واحدة. وبدلاً من أن نعطي قيمة *∝ يمكننا أيضاً أن نعرف نمطاً خاصاً من هندسة لوباتشيفسكي بأن نعطي مساحات «وحدة المثلثات». فإذا كان حجم «وحدة المثلثات» مقارباً لابعاد المجرة، فإن كل المثلثات المادية تكون صغيرة ولن نلحظ الخلل في أي من المثلثات التي نقوم بقياسها، وكلما زادت مساحة المثلث بالمقارنة «بوحدة المثلثات» كلما زاد الخلل. ومن ثم فإن مجموع الزوايا في المثلث الكبير أصغر منه في المثلث الصغير. وإذا كانت مساحَة المثلث صغيرة جداً بالنسبة «لوحدة المثلثات» فإن الخلل في هذا المثلث يكون صغيراً تقريباً، ويكون مجموع الزوايا ١٨٠° تقريباً؛ ويتناقص المجموع كلما تزايد الخلل. وإذا كان لدينا مثلث صغير مشابه لمثلث كبير فإن مجموع الزوايا في كل منهما يكون ١٨٠°. وبما أن الخلل في المثلثات الكبيرة يكون في هندسة لوباتشيفسكي أكبر من الخلل في المثلثات الصغيرة، فإن المثلث الصغير والمثلث الكبير لا يمكن أن يكونا متشابهين. ومن ثم فإنه لا يوجد مثلثان لهما نفس الشكل وهما في نفس الوقت يختلفان حجماً، ومن ذلك يمكننا أن نستنتج أنه لا يمكن لأي شكلين هندسيين من أي نوع أن يكون لهما نفس الشكل إذا كان حجماهما مختلفين، فالحجم يحدده الشكل. ولا يمكن أن يكون هناك مثلث مجموع زواياه ١٨٠° إلا إذا كان مثلثاً صغيراً جداً.

٧ ـ صلاحية الافتراضات في الهندسة

ندع الآن الجدل الرياضي البحت مؤقتاً ونسأل عما هي العلاقة بين الهندسة والتجربة. إن كل ما أثبتناه حتى الآن لا يمت بصلة إلى التجربة. لقد أوضحنا أنه إذا كانت بديهيات أوقليد مستوفية في المثلثات، فإن هناك مثلثات متشابهة. أما إذا

كانت بديهيات هندسة لوباتشيفسكي هي المستوفاة في المثلثات فإنه لا يمكن وجود مثلثات متشابهة. وهذه هي مجرد نصوص شرطية؛ ونحن لا يمكن أن نستنبط منها أي شيء بشأن المثلثات المادية المصنوعة من الخشب أو من الحديد. وإذا كانت بعض البديهيات صحيحة، فإن بعض النتائج تكون صحيحة. وهذه النصوص الشرطية هي كل ما نعلم أنه حقيقي في الهندسة. وتظل هذه النصوص صحيحة مهما حدث في الكون. والنصوص المنطقية البحتة صحيحة دون اعتماد على ما يحدث مادياً في الكون. ونفس الشيء صحيح بالنسبة للهندسة إذا تناولناها بالمعنى الرياضي البحت. ويمكن أن نقول إن «النصوص المنطقية» تتميز بأنها صحيحة بسبب صيغتها، دون اعتبار لمعاني مصطلحاتها فيمكن أن نستبدل مصطلحات أخرى بكل مصطلحات هذه النصوص، ومع ذلك تبقى النصوص صحيحة. وأقرب مثال مألوف هو القياس المنطقي: إذا كان سقراط إنساناً، وكل الناس فانون، فإن سقراط من الفانين ويظل هذا النص صحيحاً إذا بدلنا الألفاظ «سقراط»، «إنسان»، «فان» بغيرها من الألفاظ، كأن نقول مثلاً: إذا كان الثعلب من الثدييات، وكل الثدييات فقريات، فإن الثعلب من الفقريات. وكل نصوص الهندسة هي في نهاية الأمر من هذا النوع.

وفي الكتب الدراسية الأولية لا نجد النصوص الهندسية نصوصاً منطقية بحتة، ولكنها خليط من النصوص المنطقية والاختبارية. ونجد على سبيل المثال، أن تعريف مفهوم التطابق يرجع فيه إلى العملية المادية، وهي انتقال الأجسام الصلبة. وعلى أية حال فإننا نستطيع أن نحول الهندسة الأوقليدية بأن نعيد صياغة البديهيات إلى مجموعة من النصوص المنطقية البحتة. وسوف نناقش إعادة الصياغة هذه في القسم التالي (٨). وسوف نعتبر عند هذا الحد أن إمكانية هذا «التشكيل للهندسة» أمر مسلم به، ثم نسأل سؤالاً صحيحاً: أيها هو الصحيح، الهندسة الأوقليدية أم الهندسة غير الأوقليدية؟ ونحن لا يمكننا الإجابة عن هذا السؤال من وجهة النظر الرياضية. وإذا افترضنا صحة بديهية أوقليدس فيمكننا بالبرهان الرياضي أن نثبت فقط أن هناك مثلثات متشابهة، وإذا رفضنا هذه البديهية فإنه لا توجد مثلثات متشابهة. وعلى كل، فإننا لا يمكن أن نقرر صحة وجود المثلثات المتشابهة، أي «صحة الهندسة الأوقليدية» وقد تعودنا من ناحية أخرى على تطبيق

الهندسة على الأجسام المادية. والأمر يتطلب دراسة متأنية لكي نفهم كيف نفعل ذلك. ونحن لا نجد في النظام الهندسي كله تعريفاً للخط المستقيم أو النقطة. وبما أن الاستنتاجات المنطقية لا تعتمد على معاني المصطلحات التي تحتويها النصوص، فيمكننا، دون تعريف الخطوط المستقيمة أو النقط أن نقول: إن هذه الأجسام إذا توافرت لها الصفات المذكورة في البديهية فسوف تكون لها أيضاً تلك الصفات التي تنشأ في النظريات. وأياً كانت صفات الخطوط المستقيمة والنقط، فإن قبولنا ببديهيات أوقليد يترتب عليه وجود المثلثات المتشابهة ـ وإذا قبلنا بديهيات لوباتشيفسكي فلا وجود لمثل هذه المثلثات ـ إذن كيف نطبق الهندسة على مثلثات مصنوعة من الخشب أو من الصلب؟ من الواضح أننا نحتاج لهذا الفرض إلى «هندسة» مختلفة اختلافاً كلياً في بنيتها عن الهندسة الرياضية التي شكلناها والتي كنا نعنيها بحديثنا حتى الآن.

لاحظنا أن النتائج التي حصلنا عليها حتى الآن هي نتائج صالحة دون التعرض لمعاني المصطلحات الهندسية. ولكي نصل إلى التطبيق على المثلثات المادية، يجب أن ننشيء نوعاً آخر من الهندسة يحدد المعاني لمصطلحات مثل الخط المستقيم والنقطة. وقد وصف رودولف كارناب[٢٤] في مقدمة كتابه «تشكيل المنطق» (formalization of logic) اتجاهين للمنطق الحديث:

يؤكد أحد الاتجاهين على الشكل، والبناء المنطقي للجمل والاستنباطات والعلاقات بين الإشارات، والتعبيرات التجريدية من معنى هذه الإشارات. ويؤكد الاتجاه الآخر على العوامل التي يستبعدها الاتجاه الأول: المعنى، والتفسير، والعلاقات.... والتناسق أو التنافر المبني على المعنى، والتمييز بين الحقيقة الضرورية والحقيقة العرضية... الخ. والاتجاهان قديمان قدم المنطق نفسه وقد ظهرا تحت اسماء عديدة. وإذا استخدمنا المصطلحات الراهنة فيمكننا أن نسميها على الترتيب بالاتجاه المقيد بالإعراب والاتجاه المقيد بدلالات الألفاظ وتطورها.

ولقد بذلت محاولات عدة لإنشاء هندسة من لا شيء. لا كنظام منطقي، بل كعلم يتعامل مع الأجسام المادية، مثل المثلثات الخشبية والحديدية. ومن المحاولات الهامة في هذا السبيل ما قام به الرياضي البريطاني الشهير وليام كنجدون كليفورد الذي عمل أكثر من غيره من الرياضيين على تكامل الرياضيات في نطاق نظامنا العام للمعارف. وفي عام ١٨٧٥ كتب كليفورد يقول[٢٥]:

> الهندسة علم مادي فهي ـ تتعامل مع أحجام الأشياء وأشكالها وأبعادها . . ـ وسوف ندرس علم أشكال الأشياء وأبعادها من خلال إجراء مشاهدتين غاية في البساطة والوضوح. والمشاهدتان هما:
>
> الأولى أن الجسم يمكنه أن يتحرك من موضع إلى آخر دون تغير يطرأ على حجمه أو شكله. والثاني أنه يمكننا أن نحصل على أجسام تتشابه في الشكل ولكنها تختلف في الحجم.

والأشياء التي يتحدث عنها كليفورد هي ولا شك ما نسميه في الفيزياء «بالأجسام الصلبة» وهو يفترض أن المعيار المستخدم في تأكدنا من أن «الشيء» صلب هو المعيار المستخدم عموماً في الفيزياء التجريبية. ويقاس «حجم» الشيء و«شكله» بالمتر العياري في باريس أو بالقدم العياري في واشنطن، مع استخدام طرق التصحيح المفروضة وعندئذ يمكن إنجاز المشاهدتين اللتين وصفهما كليفورد باستخدام هذه العياريات. ويستطرد كليفورد: وإذا طبقنا هاتين المشاهدتين على المثلثات يمكننا أن نثبت: (أ) لا يمكن لأي خطين مستقيمين أن يتقاطعا في أكثر من نقطة واحدة. (ب) إذا رسم خطان في مستوى واحد بحيث لا يتقاطعان فإن زاويتي تقاطعهما مع أي مستقيم ثالث تكونان متساويتين.

وقد علمنا في الأقسام السابقة (الأقسام ٤ , ٥ , ٦) كيف يمكن من المثلثات المتشابهة أن نستنبط بديهية أوقليد للمتوازيات، وأن نستنبط من هذه البديهية النظرية القائلة: بأن الخط المستقيم يقطع المستقيمين المتوازيين بزاويتين متساويتين. وقد حصلنا في برهاننا الرياضي على هذه النتائج من «البديهيات» دون استخدام معاني المصطلحات الهندسية. وقد بدأ كليفورد بالمشاهدات المعممة التي كانت بالطبع نصوصاً بشأن حقائق مادية واستنتاجات مستمدة منها، وهذه الأخيرة هي أيضاً نصوص بشأن مثلثات مادية.

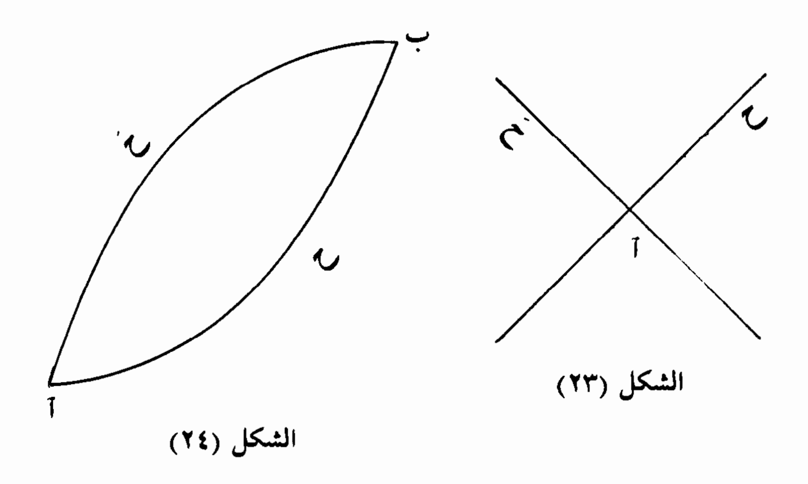
وسوف نناقش في الأقسام التالية العلاقة الدقيقة بين الاستنتاجات المستمدة من البديهيات دون استخدام لمعنى المصطلحات وبين الاستنتاجات المستمدة من نصوص بشأن الحقائق المادية، حيث يدل كل مصطلح على جسم مادي. وقد صيغت «البديهيات» في علوم القرن العشرين بحيث إن المرء عندما يستخرج استنتاجاته لا يستخدم أي معلومات عن معنى المصطلحات؛ وبإرساء هذا النظام

الكامل التشكيل للبديهيات يستطيع المرء أن يحصل على استنتاجات بشأن المثلثات المادية باستخدام طريقة عجيبة للتوفيق بين الاستنتاجات الشكلية البحتة والمنطقية البحتة وبين النصوص الخاصة بالأجسام المادية.

٨ ـ «تشكيل» البديهيات

إذا نظرنا إلى الهندسة، كما تعامل في الكتب الدراسية وفي المناهج الأولية، نجد أنها ليست بالنظام المنطقي البحت فمعاني بعض المصطلحات، مثل التطابق، يتم تعريفها بواسطة بعض العمليات مثل عملية إزاحة جسم صلب. ومع ذلك، يمكن تعديل النظام الأوقليدي بحيث يصبح منطقياً بحتاً. وسوف نوضح ذلك بمثال بسيط جداً. إن هذا يعني أن علينا أن نصوغ هذا النظام على نحو يجعل صلاحية نصوصه متوقفة فقط على شكلها أو (صيغتها) وليس على معنى المصطلحات الهندسية: مثل «الخط المستقيم»، «النقطة»، «متقاطع»، «توصيل».

سبق أن وضعنا البديهية القائلة بأن أي نقطتين لا يمكن أن يصل بينهما غير خط مستقيم واحد (البديهية١). ثم استنبطنا من الشكلين التاليين أن الخطين المستقيمين إما أن يتقاطعا في نقطة واحدة أو لا يتقاطعان (انظر الشكل ٢٣). وفي الشكل (٢٤) إذا كان الخطان ح، حَ لا يتقاطعان عند نقطة واحدة (آ) فقط، ولكنهما يتقاطعان أيضاً عند نقطة أخرى (ب) فسوف يكون لدينا (الشكل٢٤) وهو حالة مستحيلة بناء على البديهية (١) إذا كان الخطان ح، حَ خطين مختلفين. كان

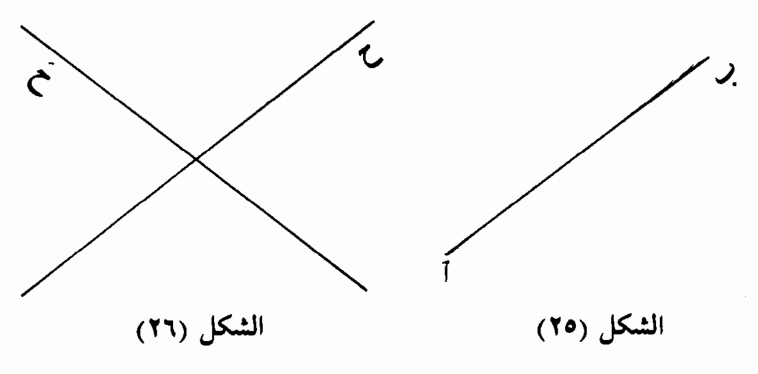


الشكل (٢٤)　　الشكل (٢٣)

هذا برهاناً عقلياً يعتمد على نوع من التصور للخطوط المستقيمة والنقط، وتصور تقاطع الخطوط المستقيمة. وليس من الضروري أن تنطوي هذه البراهين على ما تعنيه بالخطوط المستقيمة والنقط والتقاطع. ويمكننا أن نصوغ هذا البرهان على نحو يجعله منطقياً تماماً: وبعبارة أخرى، بحيث لا يشتمل البرهان على المعاني المادية لهذه المصطلحات.

سوف نبين أن البراهين الهندسية تبقى سارية المفعول حتى لو أحللنا «التفاحات» و«البرتقالات» محل «الخطوط المستقيمة» و«النقط». ولنعد بالذاكرة إلى البديهية (١): هناك خط مستقيم واحد فقط يمكن أن يصل نقطتين آ، ب (الشكل ٢٥). ومن هذا يمكننا أن نستنبط الفرعية (١) (أي النتيجة الطبيعية):

لا يمكن لخطين مستقيمين ح، حَ أن يتقاطعا في أكثر من نقطة واحدة وعلينا الآن أن نشكل هذين الفرضين (البديهية (١) والفرعية (٢)) وهذا يعني أن نضعهما في صيغة تبين للمرء كيف أن معاني المصطلحات الهندسية لا تؤثر على صلاحية البراهين.



الشكل (٢٦)　　　　الشكل (٢٥)

سوف نتخلص أولاً من المصطلحين «يتصل» و«يتقاطع». فإذا كان الخط المستقيم يمر بنقطة فسوف نقول إن الخط «ينطبق على النقطة». وإذا وقعت نقطة فوق خط فسوف نقول إن «النقطة تنطبق على الخط». وهكذا تصبح البديهية (١) على النحو الآتي: «إذا انطبق خط مستقيم (ح) على نقطتين (آ)، (ب)، وانطبق كذلك خط مستقيم آخر (حَ) على نفس النقطتين (آ)، (ب)، فإن الخطين ح، حَ لا يختلف أحدهما عن الآخر. وإذا كانت الفرعية غير صالحة فيمكننا أن نفترض أن

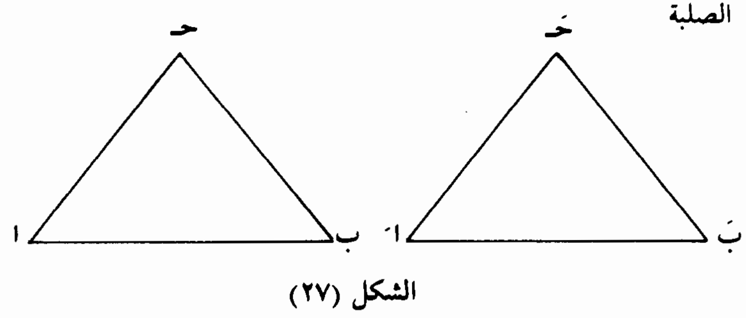
خطاً مستقيماً (ح) ينطبق على نقطتين آ، ب وأن خطاً مستقيماً «مختلفاً» (ح) ينبطق على نقطتين آ، ب وأن خطاً مستقيماً «مختلفاً» (ح ينطبق على نفس النقطتين (آ)، (ب) لكن البديهية الأولى تقول إن (ح) لا يختلف عن (حَ)، وعلى هذا فإن الفرض بأن (ح)، (حَ) مختلفان ينتج منه أن (ح) لا يختلف عن (حَ). وهذا يعني أن: من الاقتراح بأن «ل صحيح» يترتب عليه أن «نقيض ل صحيح»؛ وعلى ذلك فإن الفرعية الآتية يجب أن تكون صحيحة: إذا لم يكن الخطان المستقيمان هما نفس الشيء فإنهما يمكن أن ينطبقا على نقطة واحدة فقط؛ أو بتعبير آخر، لا يمكن أن يتقاطعا عند أكثر من نقطة واحدة.

ويمكننا الآن ان نستبدل المصطلحات في الحوار السابق على النحو التالي: «التفاحة» بدلاً من «النقطة» و«البرتقالة» بدلاً من «الخط المستقيم»، «كلها في نفس الطبق» بدلاً من «متطابقة». وسنرى أن الصفات المادية «للخطوط المستقيمة» و«النقط» و«الانطباق» لا علاقة لها بصلاحية البرهان. وستصبح البديهية الأولى على النحو التالي: لا يمكن أن يكون في الطبق تفاحتان وأكثر من برتقالة واحدة. وتصبح الفرعية الأولى: إذا كان بالطبق تفاحة أخرى. وإذا كانت هناك تفاحة ثانية فستصبح في نفس الطبق تفاحتان وبرتقالتـان. وذلك سـوف يتناقص مـع البديهية[1]. ومن ثم يتضح أننا يمكننا من البديهية (١) أن نستنتج الفرعية. ونرى من ذلك أن معاني «الخط المستقيم». . . إلخ ليست أمراً مهماً، وأننا يمكننا أن نحصل على نفس الاستنتاجات بتغيير معاني المصطلحات الهندسية. ونحن لم نستخدم في البرهان السابق سوى معنى الحرف (لا)، ولكننا يمكننا أيضاً صياغة النظام المنطقي بحيث لا تستخدم معاني المصطلحات المنطقية هي الأخرى.

٩ ـ تشكيل «التطابق»

لا يزال التعليم التقليدي للهندسة هو على وجه التقريب نفس ما كتبه أوقليد. وهو بالمعنى الدقيق نظام منطقي على نحو جزئي فقط. فهو يستخدم بعض الأفكار العامة الاختبارية. ومن بين المفاهيم الأساسية يبدو أن «التطابق» هو أقربها إلى الصفة «المادية». وينص التعريف التقليدي على أن «يكون الشكلان متطابقين» إذا أمكن وضع كل منهما منطبقاً على الآخر. ويشير هذا التعريف إلى فكرة أن

هذين الشكلين هما «جسمان صلبان» ويمكن نقل كل منهما دون أن يطرأ تغيير على شكله أو حجمه. ومن الواضح أنه منسوب إلى عملية مادية، وهي نقل الأجسام الصلبة



الشكل (٢٧)

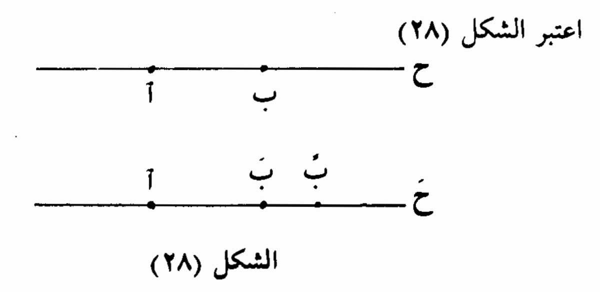
ولنعتبر على سبيل المثال النظرية الأولى في التطابق. وسوف نستخدم الرمز ≡ «للتطابق». تنص النظرية الأولى للتطابق على أنه إذا كان: أ ب ≡ اَ بَ، ا حـ ≡ اَحَـ، والزاوية حـ أ ب ≡ حَـ اَ بَ، فإن ب حـ ≡ بَ حَـ. فكيف نثبت ذلك؟ بناء على أوقليدس يتطابق الضلعان إذا أمكن وضع أحدهما منطبقاً على الآخر. ومن ثم، فإنه بناء على الشروط المعطاة، فإنه يمكن وضع ا حـ منطبقاً على اَ حَـ، ووضع ا ب منطبقاً على اَ بَ في نفس الوقت، ولذلك يجب أن ينطبق ب حـ مع بَ حَـ وبذلك يكون ب حـ ≡ بَ حَـ. وقد استخدمنا هنا كلاً من البرهان المنطقي والبرهان الاختباري مختلطين.

ولنستخدم الآن فرضاً منطقياً بحتاً. وسوف تستخدم الرموز ق، كـ، ر، للدلالة على فروض بسيطة. المثال التالي يعتبر مثالاً نموذجياً للفرض المنطقي: افتراض أنه إذا كان ق صحيحاً فإن كـ يكون صحيحاً كذلك، وإذا كان كـ صحيحاً فإن ر يكون صحيحاً كذلك. ويمكننا أن نستنتج من ذلك أنه إذا كان ق صحيحاً فإن ر يكون صحيحاً كذلك. وليس من المهم في ذلك أن تكون ق، كـ، ر، نصوصاً تتعلق بالنقط أو التطابق أو الانطباق أو أي شيء آخر.

وقد بذلت في أواخر القرن التاسع عشر محاولات لكي تجعل من الهندسة نظاماً منطقياً بحتاً. وقد لخصت هذه المحاولات واستكملت من خلال أعمال دافيد هلبرت[٢٦] عامي ١٨٩٨، ١٨٩٩، ثم نشرت في كتابه (The Foundations of Geometry). وقد دارت الفكرة حول أن الهندسة يجب أن تتطور بحيث

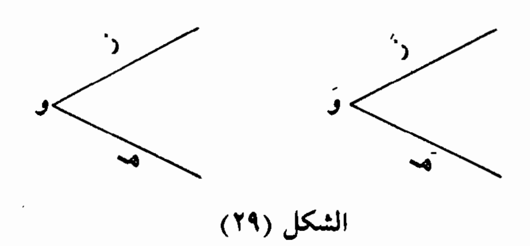
يستطيع المرء أن ينتقل من البديهيات إلى النظريات دون أن يعتمد على ما تعنيه مفاهيم البديهيات. وإذا صغنا صفات الخطوط المستقيمة في البديهية واقتصرنا في استنباطاتنا على استخدام صفات الخطوط المستقيمة فقط، فلن نكون في حاجة إلى أن نعرف ما هو الخط المستقيم. لقد رأينا في الهندسة التقليدية أن المعنى المادي للمسند «انطباق» قد استخدم في برهان نظريات التطابق. ولنر الآن كيف يبرهن هلبرت النظرية الأولى للتطابق التي ناقشناها سابقاً، وذلك دون استخدام المعاني المادية للمصطلحات. لا نستطيع الآن أن نقول إنه إذا كان هناك نظامان يمكن أن يوضع أحدهما في حالة انطباق على الآخر فإن النظامين يكونان متطابقين. إن ذلك سوف يستند إلى عملية مادية. وبدلاً من ذلك، علينا أن نستند إلى صفات التطابق بواسطة البديهيات. ما هي صفات القطعتين المتطابقتين؟

اعتبر الشكل (٢٨)



الشكل (٢٨)

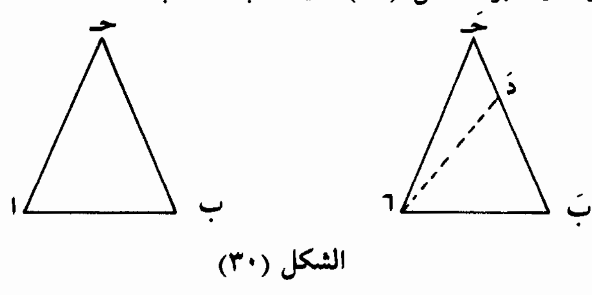
اعتبر خطاً مستقيماً ح والنقطتين ا، ب من هذا الخط. عندئذ تقول البديهية الأولى للتطابق: إذا اعتبرنا أي خط مستقيم حَ وابتدأنا من أي نقطة اَ على هذا الخط فإنه على أي من جانبي النقطة اَ توجد دائماً نقطة بَ على هذا الخط حَ بحيث تكون اَ بَ ≡ ا ب، وهذه إحدى صفات التطابق. ومن النقاط التي تتميز بها هذه البديهية أنها لا تستبعد إمكانية وجود نقطة أخرى بً أيضاً مختلفة عن بَ بحيث يكون ا ب ≡ اَ بً. فالبديهية لا تنص على وجود نقطة واحدة فقط (بَ) تتوافر فيها الصفة المذكورة. وهذه هي الحالة إذا عرفنا «التطابق» بالوضع في حالة انطباق» ـ ومن الضروري في هندسة هلبرت إثبات أن هناك نقطة واحدة فقط لها هذه الصفة. وهناك صفتان أخريان للتطابق تتضحان من خلال البديهيات الآتية. القطعتان اللتان تتطابق كل منهما مع قطعة ثالثة تكونان قطعتين متطابقتين؛ والزاويتان المتطابقتان مع زاوية ثالثة تكونان زاويتين متطابقتين. وتعرف «الزاوية»



الشكل (٢٩)

بأنها خطان مستقيمان ز، هـ يلتقيان عند نقطة (و). وعندئذ يمكننا أن نذكر البديهية الآتية: إذا أعطيت الخط زَ المبتدىء من نقطة وَ، فإنه في أي مستوى يحتوي على هذا الخط يمكن أن يوجد على كل من جانبيه خط واحد فقط هو الخط هَـ المبتدى من نقطة وَ بحيث تكون الزاوية (زَ هَـ) متطابقة مع زاوية معلومة (ز هـ). ونضع بعد ذاك بديهية تنص، بطريقة معينة، على العلاقة بين تطابق القطع وتطابق الزوايا. وسوف نحتاج إلى مثل هذه العلاقة لكي نستطيع أن نثبت النظرية الأولى في التطابق. ولتحاشي المعنى المادي للتطابق قدم هلبرت هذه البديهية التي نستطيع أن نستنبط منها ما استنبطه أوقليدس من المعنى المادي (الشكل ٣٠) والبديهية الجديدة لهلبرت هي: إذا كان ا ب ≡ اَ بَ وكان ا حـ ≡ اَ حَـ، وكانت الزاوية حـ ا ب≡ زاوية حَـ اَ بَ، فإن الزاوية ا حـ ب ≡ الزاوية اَ حَـ بَ. وهذه البديهيات كما ذكرناها لا تنطوي على عمليات مادية. إنها تعطي فقط صفات التطابق.

ولنبدأ الآن في استخدام هذه البديهيات لكي نبرهن النظرية الأولى في التطابق. ولنعتبر الشكل (٣٠) لدينا ا ب ≡ اَ بَ، ا حـ ≡ اَ حَـ، والزاوية



الشكل (٣٠)

حـ ا ب ≡ الزاوية حَـ اَ بَ. وطبقاً للنظرية الأولى للتطابق يكون بَ حَـ ≡ ب حـ. وإذا عرفنا «التطابق» «بالانطباق» يكون البرهان واضحاً. أما هلبرت فقد

استخدم بديهياته في البرهان على النحو التالي: إذا لم يكن بَ حَـ متطابقاً مع ب حـ فإننا نرى من البديهية الأولى المذكورة أعلاه (بديهية هلبرت) أنه يمكن دائماً أن نجد نقطة دَ بحيث يكون بَ دَ ≡ ب حـ. (إذا كانت النقطة تقع بعد حَـ، فإن البرهان لن يختلف) ولنقارن الآن بين المثلث ا ب حـ والمثلث اَ بَ دَ. ا ب ≡ اَ بَ، ب حـ ≡ بَ، دَ ومن بديهية هلبرت تكون الزاوية ا ب حـ متطابقة مع الزاوية اَ بَ دَ. ومن ثم ينتج من بديهية هلبرت أيضاً أن: إذا كانت الزاوية دَ اَ بَ متطابقة مع الزاوية حـ ا ب، والزاوية اَ دَ بَ ≡ الزاوية ا حـ ب. فإن الزاوية دَ اَ بَ ≡ حَـ اَ بَ، ويجب أن ينطبق اَ حَـ على اَ دَ. ويمكن أن نرى بهذه الطريقة كيف أننا بوضع بديهيات أكثر تعقيداً إلى حد ما، يمكننا أن نبرهن نظريات التطابق بطريقة منطقية تماماً دون الاستناد إلى الفكرة المادية «للوضع في حالة انطباق». ونحن لم نقدم أي تفسير مادي للمصطلحات. فقط قدمنا ببساطة نصوص بديهيات معينة تقع فيها المصطلحات. ومن الواضح أننا لا نستطيع من ذلك أن نقدم أي معلومات عن العالم الخارجي. ولا ينشأ عن ذلك سوى أنه إذا كان هناك تطابق معين فإنه توجد أيضاً تطابقات أخرى. ولكننا لا نعرف «ما هو التطابق».

ونعلم، من ناحية أخرى، أن الهندسة تمدنا بقوانين تتعلق بصفات الأجسام المادية. فإذا صنعنا مثلثاً من الحديد الصلب، فإننا نحقق بالقياسات الحقيقية أن مجموع زواياه حوالى ١٨٠°. وتبرز الآن مشكلة: كيف يتسنى للنظام المنطقي للهندسة الرياضية، (نظام البديهيات لهربرت على سبيل المثال) أن يساعدنا في الحصول على القوانين المادية بشأن المثلثات الحديدية أو الخشبية؟ سوف نناقش هذه العلاقة في القسم التالي.

١٠ ـ تعريفات تشغيلية في الهندسة

رأينا أن نظام الهندسة الرياضية إذا أجيد تشكيله (أو صياغته) يصبح غير معتمد على معاني مصطلحات مثل الخط المستقيم والنقط. وعندئذ يمكن اعتبار النظام كله تعريفاً لهذه المصطلحات نظراً لأنه يعطى كامل خواص هذه المصطلحات. ويمكن على سبيل المثال أن تصاغ البديهية (١) على النحو التالي: «النقط» «الخطوط المستقيمة» هي أشياء و«الانطباق» هو صفة بحيث إن خطاً مستقيماً واحداً فقط هو الذي يمكن أن ينطبق على نقطتين معلومتين. وهذا «تعريف

ضمني» للمصطلحات الهندسية. وتعبر البديهية (١) (القسم ٨). عن نفس الشيء بشكل مختلف. ونحن نسميه «التعريف الضمني» للنقط والخطوط المستقيمة. وتلك التعريفات اعتباطية شأنها في ذلك شأن أي تعريف آخر. ومهما حدث في دنيا التجارب فلن يمكن لأحد أن يمنعنا من صياغة هذه التعريفات. إنها ليست صحيحة كما أنها ليست زائفة. إنها تشترط القواعد التي تربط بين كل من المصطلحات الهندسية مثل «النقطة» و«الخط المستقيم» و«الانطباق»... إلخ. ولكنها لا تشترك أي قواعد لربط هذه المصطلحات بالأشياء المادية مثل المثلثات المصنوعة من الخشب أو الحديد. وإذا شئنا أن نبحث الآن كيف يمكننا أن نستفيد من الهندسة المتشكلة في توجيهنا في العالم المادي، فيجب أن نبادر بهذا السؤال: هل هناك في العالم المادي أشياء لها تلك الصفات المصاغة في البديهيات؟ فإذا كان الأمر كذلك فإن هذه الأشياء تكون لها أيضاً تلك الصفات الواردة في صياغة النظريات. ونحن إنما نبحث عن «تفسير مادي» لبديهيات الهندسة.

ويمكننا أن نقول مثلاً عن نفس الخط المستقيم في عالم المادة بأنه حافة مكعب حديدي. ومثل هذا الجسم لا يأتي تعريفه في الفيزياء إلا عن طريق الخطوات التكنولوجية التي يمر بها إنتاج هذا الجسم. ويجب أن نضع في اعتبارنا التصحيحات التي تقتضيها التغيرات في الحجم والشكل والتي تنشأ بسبب التغيرات في درجة الحرارة والضغط. وتشتمل هذه الخطوات على ارساء المتر العياري في باريس وقياس المكعب المطلوب بالمقارنة مع هذا المقياس العياري. وفي نهاية الأمر نحصل على «حافة جسم صلب». ونحن نحصل بهذه الطريقة على ما سماه ب. و. بريدجمان «بالتعريفات التشغيلية» لمصطلحات «الخط المستقيم» و«النقطة»... الخ. ومن الواضح أن هذه التعريفات تختلف في نوعها عن تعريفات هذه المصطلحات ببديهيات الهندسة المشكلة والتي يمكن أن نسميها «التعريفات البداهية». ويمكننا أيضاً أن نعطي «تعريفات تشغيلية» أخرى للخط المستقيم ـ فيمكننا أن نقول بأنه مسار شعاع الضوء، أو حبل مشدود. ويمكننا أن نقول إنه أقصر مسافة بين نقطتين ـ ونحتاج في هذه الحالة إلى «تعريف تشغيلي» لما هو أقصر، أي لطريقة قياس الطول.

وإذا قدمنا تفسيراً مادياً «للنقطة» و«الخط المستقيم» و«التقاطع» فإن

البديهيات والنظريات في الهندسة تتخذ عندئذ طابعاً مختلفاً تماماً. والتعريفات البداهية «للخط المستقيم» و«النقطة»... إلخ تعريفات اعتباطية، ولكننا إذا استبدلنا هذه المصطلحات بتعريفاتها التشغيلية فإنها تصبح نصوصاً بشأن أشياء مادية ويجب تدقيقها بواسطة التجربة: وقد يؤدي ذلك إلى تثبيتها أو دحضها. فإذا صنعنا عندئذ مثلثاً من الخشب أو من الحديد وقسنا مجموع زواياه فوجدنا أنه ١٨٠° تقريباً فهل يكون ذلك تأكيداً للهندسة الأوقليدية؟ أقول بصراحة لا؛ إن ذلك يكون تأييداً «لتفسير مادي خاص للهندسة الأوقليدية». وإذا وجدنا أجساماً «بسيطة» ذات أهمية خاصة بالنسبة لنا، ووجدنا أنها تحقق بديهيات الهندسة الأوقليدية، فإننا نقول إن هذه الهندسة صحيحة، بمعنى أن لها تطبيقاً معيناً بالنسبة لنا.

ومن المستحيل أن نعقد مقارنة مباشرة بين الهندسة الأوقليدية وهندسة لوباتشيفسكي من خلال مقارنة التفسيرات المادية للبديهيات. كيف يتسنى لنا أن نحدد ما إذا كانت حافة واحدة أو أكثر من حواف الأجسام هي التي لن تتقاطع إذا استطالت إلى مسافات بعيدة؟ سوف يستحيل عملياً أن نحدد ذلك بتجربة مباشرة. وربما أمكننا، كما في الفيزياء، أن ندقق بعض نتائج البديهيات لا أن ندقق البديهيات نفسها. فمثلاً، ينتج من بديهية أوقليد النظرية القائلة بأن مجموع زوايا المثلث ١٨٠°. وإذا قسنا هذه الزوايا فقد نجد خللاً ضئيلاً، إذ نجد أن المجموع أصغر قليلاً من ١٨٠° ونحن نعزو هذا الفرق إلى الأخطاء العملية. ومع ذلك قد نفترض أن هندسة لوباتشيفسكي صالحة. وذلك استناداً إلى نفس التفسير المادي. وإذا سلمنا بأن ذلك ممكن فإننا لا نعرف ما إذا كان الخلل راجعاً في حقيقة الأمر إلى الأخطاء أم لا. إن ذلك يتوقف على أي نوع من أنواع هندسة لوباتشيفسكي هو النوع الذي يصلح تطبيقه (القسم ٧). لا بد لنا من أن نضع فرضاً محدداً بشأن الحجم الذي تكون عليه وحدة المثلثات. فإذا كان المثلث الذي نقيسه أصغر كثيراً من وحدة المثلثات، فإن الخلل يكون صغيراً جداً. وإذا كان في نيتنا أن نختار قاعدة المثلث الذي نقوم بقياسه بحيث يبلغ طولها مليون ميل فسوف نجد في هذه الحالة خللاً أكبر كثيراً. ومن ثم يمكننا أن نرى احتمالين لتفسير الفارق الصغير بين ١٨٠° وبين المجموع الذي نقيسه: إما أن هندسة أوقليد صالحة وتفسر هذه الفروق على أنها «أخطاء»، وإما أن هندسة محددة للوباتشيفسكي هي الصالحة

بحيث إن المثلثات الموجودة هنا على سطح الأرض صغيرة جداً إذا قورنت بوحدة المثلثات. وإذا وجد احتمالان فإننا سوف نختار «أبسطهما» - إذا أمكن أن نجد معياراً واضحاً للبساطة.

تناولت هذه الملاحظات نفس التفسير المادي لنظامين من نظم البديهيات. ويجدر بنا أن نتناول أيضاً تفسيرين ماديين مختلفين، وليكن أحد هذين التفسيرين هو تمثيل الخط المستقيم بشعاع الضوء، والتفسير الآخر هو تمثيل هذا الخط بحافة الجسم الصلب. وقد يحدث عندئذ أن يكون أحد هذين التفسيرين الماديين مؤكداً للهندسة الأقليدية. وأن يكون الآخر مؤكداً لهندسة لوباتشيفسكي. وعلى هذا فإن التجربة لا يمكنها إطلاقاً أن تؤكد نظاماً للبديهيات الهندسية، ولكنها يمكن أن تؤكد فقط إحدى «الهندسات» مضافاً إليها تفسيرها المادي. وتتمثل المشكلة دائماً فيما يلي: إذا فشل النظام (الموسع) - المؤلف من بديهيات الهندسة ومن تفسيرها المادي - في التوافق مع التجربة، فإننا نتخلى عن أي جزء من جزئي النظام الموسع. ولقد أكدنا مراراً على أن النظام المشكل للهندسة لا ينبئنا بأي شيء عن دنيا التجارب المادية ولكنه يتكون من تعريفات «اعتباطية». وتلك حقيقة صاغها الرياضي والفلسفي الفرنسي العظيم هنري بوانكاري[٢٧] ويزعم بوانكاري أن قوانين الهندسة لم تكن نصوصاً بشأن الحقائق، ولكنها كانت اصطلاحات اعتباطية حول كيفية استخدام مصطلحات مثل «الخط المستقيم» و«النقطة». وقد أصبح هذا الرأي لبوانكاري معروفاً باسم «التقاليدية» (التمسك بالتقاليد المصطلح عليها) (Conventionalism) وقد أثار هذا الرأي كثيرين من العلماء إذا انه يزعم أن نصوص الهندسة ليست إلا «اصطلاحات» بينما ينظرون هم إليها على أنها «حقائق». وقد أكد هؤلاء على أن الهندسة قد حققت للإنسان فوائد عملية كبرى. ولم ينكر بوانكاري هذه الحقيقة. فهناك اصطلاحات مفيدة وأخرى لا فائدة منها. وإذ لم يكن هناك شيء في دنيا المادة يحقق بديهيات الهندسة (ألا تكون هناك أجسام صلبة مثلاً) فلن يكون لهذا النظام للاصطلاحات أية أهمية عملية حيث انه لن يطبق على أي شيء. ومع ذلك سوف تبقى الهندسة أمراً حقيقياً بسبب خاصيتها الاشتراطية. وعلى هذا يمكننا أن نقول إن البنيات المنطقية مثل بنية الهندسة هي بنيات صحيحة في حد ذاتها دون أن تعتمد على ما يجري في الكون ودون أن تعتمد على معنى مصطلحاتها، فمعنى هذه المصطلحات لا يتعلق بهذه البنيات. ويمكننا أن

نقول إن الهندسة هي أداة صنعناها بهدف التعامل مع الأجسام الصلبة. وإذا أسبغنا على قوانين الهندسة تفسيراً مادياً فإنها تكون قوانين مادية مثلها مثل أي قوانين مادية أخرى. ويجب أن نعتبر أن للهندسة وجهاً مزدوجاً. فباعتبارها بنية منطقية، فهي لا صلة لها (بالحقيقة) (reality)، وَلكن لها سمات الشيء المؤكد. وقد شرح أينشتاين هذا الأمر على النحو التالي: «إن الهندسة لا تنبئنا عن أي شيء بشأن العالم المادي على نحو تأكيدي. أما بالنسبة لما تقوله عن تجاربنا المادية فهو أمر غير مؤكد»، وكثيراً ما نتساءل هل «الفراغ الحقيقي» المحيط بنا أوقليدي أم غير أوقليدي. ويأمل البعض أن يثبت أن «هذا الفراغ الحقيقي» أوقليدي حقاً وأن الفراغ غير الأوقليدي شيء خيالي فقط، وأنه من صنع خيالنا. وهذا البديل لم يوضع في صياغة سليمة.

ويجب أن نميز بين الهندسة باعتبارها بنية منطقية وبينها باعتبارها تفسيراً مادياً. ويجب أن تفهم إلى أي حد أصبحت الهندسة اصطلاحية وتقليدية. وكل من الهندسة الأوقليدية وغير الأوقليدية هي من الوجهة المنطقية البحتة بنيتان منطقيتان وهما (مناسبتان) على حد سواء، ولذلك فهما تتساويان في صحتهما. والتساؤل عما إذا كان «الفراغ الحقيقي أوقليدياً» معناه أننا نتساءل: هل هناك تفسيرات مادية بسيطة «للنقطة» و«الخط المستقيم»... وما إلى ذلك، بحيث تحقق بديهيات الهندسة الأوقليدية، ومن ثم تحقق أيضاً نظريات هذه الهندسة؟

١١ ـ مفهوم الهندسة في القرن العشرين

عندما نشأت العلوم الحديثة حوالى عام ١٦٠٠، كان هناك قدر معين من الشك في طرق عرض العلوم، وهي تلك الطرق التي اهتمت بالنظم المنطقية للمصطلحات. وقبل أن يطرأ «المعنى التشغيلي» على التفكير بزمن طويل، كانت النظم المنطقية، كما تمثلت في «مدرسية» العصور الوسطى، قد طبقت على دنيا المادة على نحو فضفاض، وكان من المعتقد أن الانسان عندما يصوغ نظاماً منطقياً فهو إنما يقدم أيضاً نظرية بشأن دنيا التجربة. وهذا الاعتقاد ليس خطأ على نحو ما. فبعض التعريفات التشغيلية قد أخذت على أنها أمر مسلم به. ولم يكن هناك إحساس بضرورة صياغتها على نحو محدد. بل إن رجلين مثل لوباتشيفسكي وهلبرت قد تحدثا عن الخطوط المستقيمة كأشياء من العالم المادي كما لو لم تكن هناك

عدة طرق لتقـديم «تعريف تشغيـلي» للخط المستقيم فقد استحدث «حافة الجسم الصلب» على أنها تفسير مـادي طبيعي مسلم به للخط المستقيم. وكـما سبق أن ذكرنا، كانت غيبة الصلة المحددة تحديداً جيداً بين النظم المنطقية ودنيا التجارب أمراً لاحظه وهاجمه أوائل المدافعين عن التجريب باعتباره أساساً للعلم. وقد وجه فرانسيس باكون مؤلفه Novum Organum ليعارض به مؤلف أرسطو «Organum Metaphysics and Physics» الذي ركز فيه فيلسوف العلوم القديمة على دور النظم التقليدية، دون أن يولي اهتماماً كافياً بدور «التعريفات التشغيلية» مع أنه قد اهتم بهذه التعريفات أكثر مما فعل سلف الفيلسوف العظيم أفلاطون. كتب فرانسيس باكون يقول(٢٨):

> **يتألف القياس المنطقي من اقتراحات، اقتراحات بكلمات؛ والكلمات هي إشارات (علامات) لخواطر شخصية. ولذلك فإن هذه الخواطر إذا كانت مشوشة وجردت من الأشياء في إهمال فإن البناء الفوقي يفقد تماسكه... والنظام الحالي للمنطق يساعد على تثبيت الأخطاء القائمة على الخواطر الشائعة وترسيخها، أكثر مما يساعد في البحث عن الحقيقة. ولهذا فإن ضرره أكبر من نفعه.**

ومن المؤكد أن الإلحاح على الهندسة الراهنة كان شديداً باعتبارها نظاماً منطقياً فالهندسة فخورة بما لها من «يقين مطلق» وتلك دعوى لا يمكن أن تكون قائمة على البحث التجريبي. وقد ذكر لويس روجيير(٢٩) في كتابه The Geometrical Philosophy of Henri Poincaré.

> **يبدو أن النظريات الهندسية تتمتع بيقين مزدوج: الضرورة الأكيدة المنبثقة عن البرهان العملي، والدليل الحسي الذي نشأ في الحدس الفراغي. ويبدو أن هذه النظريات مزدوجة في صحتها: صحة شكلية نشأت في المنطق المتلاحم للمناقشات، وصحة مادية نشأت في اتفاق الأشياء مع أهدافها.**

وطبقاً لطريقة القرن التاسع عشر في عرض الهندسة، كانت النظريات مبنية على استنباطات منطقية شكلية من البديهيات، لكن صحة البديهيات كانت مبنية على «الحدس الفراغي» ولم يكن الاشتقاق المنطقي للنظريات أمراً موضع خلاف ولكن «الحدس الفراغي للبديهيات» وهو تقريباً نفس «الرؤية بعين العقل» كان موضع نقد شديد. ومنذ منتصف القرن التاسع عشر على وجه الخصوص،

ارتفعت أصوات هؤلاء الذين كانوا يعتبرون البديهيات نتائج للتجربة، حتى ولو كان ذلك ليس موضع مقارنة مع «اليقين» المزعوم للنظريات الهندسية.

ويؤكد اثنان من كبار علماء القرن التاسع عشر، وهما برنارد ريمان[٣٠] وهيرمان هولمهولنز[٣١] على أن بديهيات الهندسة هي نتائج للمشاهدة المادية، ومن ثم فإن النظريات لا يتوافر لها يقين أكثر مما يتوافر لأي نص في الفيزياء. وفي عام ١٨٥٤ كتب ريمان في مقال عن «On the Hypotheses of Geometry» يقول: «إن الخواص التي تميز الفضاء عن غيره من الأماكن الثلاثية الأبعاد التي يمكن تخيلها إنما يمكن للتجربة فقط أن تزودنا بها». وفي حوالى عام ١٩٠٠ نفذت هذه الفكرة إلى مقدمات الكتب المدرسية في الهندسة لكي تشدها إلى مستوى الفكر الحديث[٣٢].

وعلى سبيل المثال، كتب الرياضي الفرنسي ايمانويل بوريل[٣٢] في مؤلفه الدراسي عام ١٩٠٨ يقول:

> إن هدف الهندسة هو دراسة تلك الصفات للأجسام التي لا تعتمد على مادة تلك الأجسام، وإنما تعتمد على أبعادها وشكلها. فالهندسة تعين مساحة الحقل ولا يعنيها ما إذا كانت تربته خصبة أو سيئة.

أما الرياضي الإيطالي جيوسبي فيرونيس[٣٣] فقد ذكر بصراحة في كتابه «Elements of Geometry» عام ١٩٠٩: «البديهية هي فرض يمكن إثبات مضمونه تجريبياً، وهي لا تتعارض مع أي فرض آخر ولا يمكن استنباطها منه» وقد بدأت البديهيات تلعب الآن دور النظريات المادية. وكانت النظريات أيضاً حينئذ نصوصاً بشأن الحقائق المادية. وعندئذ أثير السؤال الآتي: ما هو الفرق بين البديهية والنظرية؟ وقد أجاب عن هذا السؤال في عام ١٩٠٨ كل من العالمين الرياضيين فريديريجو أنريك[٣٤] وأومبرتو أمالدي في كتابهما «Elements of Geometry».

> الصفات الهندسية الأولى للأشكال صفات واضحة؛ وهي توحي إلينا من خلال المشاهدات الحسية للأجسام الحقيقية التي كانت مصدر مفاهيمنا لهذه الأشكال. ومن هذه الصفات الحسية الأولى يمكننا بالاستنتاج المنطقي أن نستنبط صفات أخرى دون الالتجاء إلى مزيد من المشاهدات. وتلك الصفات هي أقل وضوحاً بوجه عام.

وعلى هذا فقد أكد المؤلفان على نقطة بالغة الأهمية، وهي أنه ما من فرض

عام يمكن أن يستنبط من المشاهدات الحسية، وإنما يمكن فقط أن يقترح ثم يثبت بواسطة المشاهدات. وقد أكد أنريك على أنه من الصعب أن نرى أن النظريات، مثل نظرية مجموع زوايا المثلث ١٨٠° يمكن اقتراحها من خلال المشاهدات المباشرة، بينما أن الفرض بأن هناك مستقيماً واحداً هو الذي يمر بنقطتين معينتين قد اقترح بشدة من خلال المشاهدات. والأولى نظرية، والثانية بديهية. وقد وصف أينشتاين هذا الموقف عام ١٩٢١ على النحو الآتي[٣٥].

> **وهنا يبرز اللغز الذي أعيا العلماء في كل عصر. كيف أمكن للرياضيات وهي انتاج الفكر البشري المستقل عن التجربة أن تتلاءم تلاؤماً ممتازاً مع غايات الحقيقة المادية؟ هل يمكن للعقل البشري في غيبة التجربة أن يكتشف صفات الأشياء الحقيقية من خلال التفكير البحت ؟**

لقد حبذ القرن العشرون حلاً لهذا اللغز، وهذا الحل لا يعود إلى علماء الرياضة البحتة ولا إلى رجال الفلسفة «البحتة»، ولكنه يعود إلى رجال الفيزياء الرياضية. وقدجاء هذا الحل على خطوتين. الخطوة الأولى هي «الطريقة البديهية» أو بعبارة أخرى «تشكيل البديهيات» وهي الخطوة التي أنجزها أخيراً الرياضي الألماني دافيد هلبرت الذي تمم أعمال بعض أسلافه ومن بينهم موريتز باسن[٣٦] بنى هلبرت نظاماً من البديهيات التي كانت في حقيقتها «تعريفات بديهية» للمصطلحات الهندسية في استبعاد كل التعريفات بالعمليات المادية ومع هذا كان هلبرت يعرف أن «هذا النظام الشكلي كان أيضاً تحليلاً منطقياً لمقدرتنا على الحدس». وقد رفض أن يناقش «ما إذا كان حدسنا الفراغي هو من نوع الرؤية بالعقل أم من النوع الاختباري» ونلاحظ أنه في عام ١٨٩٩ كانت الصلة بين النظام الشكلي للبديهيات وبين خواص الأجسام المادية لا تزال توصف بمصطلحات مبهمة مثل «الحدس الفراغي».

وتعود الخطوة الثانية إلى الرياضي والعالم والفيلسوف الفرنسي هنري بوانكاري[٣٧]. حاول بوانكاري في أواخر القرن التاسع عشر أن يبني هندسة يمكنها أن تنطوي على الوجهة الشكلية / المنطقية وكذلك الاختبارية / المادية. لقد عرف هلبرت «المصطلحات الهندسية» «بتعريفات بدهية» ولم يرجع إلى تفسير أنها المادية إلا في المصطلحات المبهمة مثل «الحدس الفراغي». ويقول بوانكاري أن

المصطلحات التي يتم تعريفها بنظام مثل نظام هلبرت هي أشياء مادية. وتدعى البديهيات أن في دنيانا أجساماً مادية، وأنه يمكن صنع أجسام مادية تحقق هذه البديهيات. فإذا قلنا إن «أشعة الضوء» يمكن أن تحل محل «الخطوط المستقيمة» فإن البديهية تصبح «نصوصاً في الفيزياء». وإذا أردنا أن نتحقق مما إذا كان المثلث المؤلف من أشعة ضوء في الفراغ تكون مجموع زواياه حقاً ١٨٠° فإننا نواجه صعوبة معينة فإذا وجدنا أن المجموع لا يساوي ١٨٠° فيمكننا أيضاً أن نفسر تلك النتيجة بأن نقول إن «الخلل» لا يرجع إلى عدم صلاحية الهندسة الأوقليدية ولكنه ناشىء عن أن الأشعة قد انحرفت طبقاً لقانون فيزيائي لم يتطرق إليه الشك بعد. ولاعتبارات من قبل هذا النوع استنتج بوانكاري أننا لا يمكننا التأكد مما إذا كانت أشعة الضوء تحقق الهندسة الأوقليدية إلا إذا كنا نعرف كل القوانين الفيزيائية المتعلقة بأشعة الضوء وبغير ذلك لن نستطيع أبداً أن نعرف من خلال التجربة ما إذا كانت الهندسة الأوقليدية صالحة أم لا. ويمكننا أن نؤيد صلاحية البديهيات تحت كل الظروف إذا افترضنا صحة القوانين المادية التي تعوض «الخلل» المنسوب إلى الاختلاف مع النظام الأوقليدي.

وإذا صنعنا «تدقيق صلاحية الهندسة الأوقليدية» على هذا النحو، فلا شك أن ذلك سوف يترتب عليه أننا لن نجد أي طريقة تجريبية يمكنها أن تحدد أيهما هو الصحيح، الهندسة الأوقليدية أم الهندسة غير الأوقليدية؟ وقد كتب أينشتاين يقول «من رأيي أن بوانكاري على حق من جهة الأبدية (sub specie aeternitatis)» غير أن أينشتاين[٣٨] رأى أنه من المستحسن أن يعطى تعبير «اختبار صلاحية الهندسة الأوقليدية» معنى أضيق. يقول أينشتاين:

> **لكنني مقتنع أنه لا يزال من الواجب علينا الآن أن نستخدم في قياساتنا البارده والساعة اللتين جدد تعريفهما في الهندسة الأوقليدية. وهذا يعني أنه على المرء أن يبدأ من النظرية القائلة بأن البارده والساعة المصنوعتين بالطريقة التقليدية يمثلان للهندسة الأوقليدية وللفيزياء النيوتونية في نطاق الحجم والزمان الصغيرين. إذن (G)، (P) مثبتان في حدود فراغية وزمنية معينة. ومن ثم يمكن أن تسأل: إذا افترض المرء صحة القوانين المعروفة في الفيزياء في العالم كله، فهل من الممكن أن يؤيد الهندسة الأوقليدية في العالم كله؟ إذا كان الجواب بالايجاب فإن ذلك يكون تثبيتاً للهندسة الأوقليدية، وإذا كان الجواب سلباً فإنه يكون تفنيداً لها.**

يمكن للمرء، على سبيل المثال، أن يصنع مكعبات صغيرة من الحديد الصلب. وطبقاً لفرض أينشتاين يمكن استخدام هذه المكعبات في بناء جدران صغيرة خالية من الفراغات. ويمكن للمرء عندئذ أن يحاول أن يرى ما إذا كان من الممكن له أن يبني أيضاً جدراناً تبلغ أبعادها ملايين الأميال وتكون خالية من الفراغات. ويمكن بهذه الطريقة اختبار صلاحية الهندسة الأوقليدية.

وقد أجمل أينشتاين فيما يلي ما وصل إليه هو وبوانكاري من حل «للغز».

إن التقدم الذي حققته الهندسة البدهية يتمثل في التفرقة الواضحة بين الشكل المنطقي وبين المضمون الواقعي والحدس. والهدف الوحيد للرياضيات في الهندسة البدهية هو الهدف المنطقي الشكلي؛ ولكنه ليس المحتوى الحدسي المتصل بالمنطقي الشكلي... أما النصوص بشأن الأجسام المادية فيحصل عليها بالتنسيق بين المفاهيم الخاوية للهندسة البدهية وبين الأشياء المنظورة في الحقيقة المادية، وبسلوك الأجسام الصلبة على نحو خاص طبقاً لنظرية الهندسة الأوقليدية الثلاثية الأبعاد.

ويرجع الفضل إلى ب. و. بريدجمان[٣٩] في وضع الخطة العامة المناسبة لتناول العلاقة بين الهندسة البدهية وسلوك الأجسام المادية. وهو الذي أدخل مفهوم «التعريفات التشغيلية» التي يجب أن تضاف إلى «التعريفات البدهية» لكي تقوم الهندسة بمهمتها كاملة. وقد أكد بريدجمان على أن أي مصطلح في الهندسة البدهية مثل «الخط المستقيم» يجب أن يتمشى مع عملية تقنية لصنع الجسم الذي يصفه هذا المصطلح. ويمكن أن نصف أي عملية من هذا النوع بلغتنا اليومية المعتادة، ومن هنا جاء تعبير «التعريف التشغيلي». ولب التعريف هو اختصاره إلى «عمليات مادية». وما كتبه بريدجمان عن تعريف «الطول» يعطي مثالاً بسيطاً لذلك. كتب بريدجمان يقول:

ماذا نعني بطول الجسم؟ من الواضح أننا نعرف ماذا نعني بالطول إذا كنا نستطيع أن نحدد طول أي جسم وطول كل جسم. ولكي يعين طول الجسم علينا أن نجري عمليات مادية معينة. ومن ثم فإن مفهوم الطول يتوطد عندما تتوطد العمليات التي نقيس بها الطول. أي أن مفهوم الطول ينطوي أولاً وأخيراً على مجموعة العمليات التي تحدد الطول.

وقد أعطت نشأة الهندسة قبل عام ١٨٠٠ وبعده دفعة تقدمية لفلسفة العلم

ليس من السهل أن نبالغ في تقديرها وقد جاء في كتاب The Geometrical› «Philosophy of Henri Poincaré لمؤلفه ل. روجيه(٤٠) الذي كان أحد أوائل الفلاسفة الفرنسيين في توقعه لاتجاهات أفكار القرن العشرين:

سوف يتضح أن اكتشاف الهندسة غير الأوقليدية كان الأصل في ظهور ثورة كبيرة في النظرية والمعرفة، ومن ثم في تصوراتنا الميتافيزيائية بشأن الانسان والكون. ويمكن للمرء أن يقول باختصار أن هذا الاكتشاف قد نجح في القضاء على المشكلة التي حاصرت نظرية المعرفة بدعاوى المنطق التقليدي: فمبادىء العلم إما أن تكون حقائق قاطعة (apodictic) (استنتاجات منطقية متركبة بداهة)، أو أن تكون حقائق جازمة (assertoric) ـ (حقائق المشاهدة الحسية). وقد بين بوانكاري مستلهماً أعمال لوباتشيفسكي وريمان، أنه في حالة الهندسة على وجه الخصوص يمكن وجود حل آخر وهو أن: المبادىء قد تكون اصطلاحات اعتباطية بسيطة... ومع كل، فهي لبعدها عن أن تكون معتمدة على عقولنا وطبيعتنا، فانها تنشأ فقط من اتفاق غير معلن بين جميع العقول، وتعتمد تماماً على الظروف الخاصة الواقعية في البيئة التي نعيش فيها.

وإذا نظرنا إلى نشأة الفكر وتطوره في الهندسة، فإننا يمكن أن نجيب عن سؤالين كانا قد حيرا العلماء والفلاسفة على حد سواء منذ مولد الهندسة غير الأوقليدية. الأول هو هل «فضاؤنا الحقيقي» أوقليدي أم غير أوقليدي؟ والثاني هو: هل الهندسة غير الأوقليدية يمكن تصويرها ذهنياً أو حدسياً مثل الهندسة الأوقليدية أم أنه لا يمكن ذلك؟ ويمكن صياغة مسألة الفضاء على النحو التالي: هل يمكن وجود أجسام مادية تحقق بديهيات الهندسة الأوقليدية؟ وبما أن هذا السؤال، بصراحة، لا يمكن الإجابة عنه يقيناً بالنص، فالأجدر بنا أن نسأل: هل يمكن لأشياء بسيطة معينة من التي نربطها (في حديثنا اليومي المعتاد) «بالخط المستقيم» أن تحقق البديهيات الأوقليدية، مثل أشعة الضوء، أو حواف المكعبات الصلبة؟ أما بالنسبة للسؤال الآخر فلا بد أن نقدر أن هناك غموضاً يحيط باستخدام المصطلح «حدسي». فقد يعني أنه «يمكن إدراكه بالمشاهدة الحسية»، ولكنه قد يعني أيضاً «أنه يمكن إدراكه بعين العقل أو بالحدس الباطن». وبالمعنى الأول تكون معرفتنا بالمنضدة التي نكتب عليها معرفة «حدسية». وبالمعنى الثاني تكون بديهيات الهندسة «حدسية» بالنسبة لهؤلاء الذين يعتقدون بأن صلاحيتها في غنى عن البرهان. ويلعب هذا الغموض دوراً كبيراً في الفلسفة الألمانية حيث تستخدم الكلمة المقابلة

لكلمة «حدس» استخداماً كثيراً في الفلسفة. لقد كانت كلمة مفضلة وقد أثارت قدراً كبيراً من التشويش. وإذا تمسكنا بالمعنى الأول لكلمة «حدسي» وهو المعنى الوحيد المقبول في العلم، فسوف نكون مشايعين للطريقة التي عرف بها الفسيولوجي والرياضي والفيزيائي والفيلسوف الألماني الكبير هيرمان هلمهولنز(٤١) الفرض «الحدسي» للهندسة أو لأي علم آخر. فقد وصف هذا الفرض الحدسي على النحو التالي:

> **إنه يعني تخيلاً كاملاً للانطباعات الحسية التي تثيرها فينا الأجسام (أي الأجسام المادية كما تعرفها البديهيات والتعريفات التشغيلية). طبقاً للقوانين المعروفة لأعضائنا الحسية، تحت كل الظروف المتوقعة لمشاهداتنا... فإذا أمكن لمجموعة انطباعاتنا الحسية أن تظهر بشمول ووضوح، فيجب أن نعلم أن الجسم يمكن أن يعرض عرضاً حدسياً.**

وبهذا المعنى تتساوى الهندسة غير الأوقليدية في حدسيتها مع الهندسة الأوقليدية. وإذا قبلنا بديهيات لوباتشيفسكي على سبيل المثال، وأردنا أن نقيس مثلثاً من أشعة الضوء في الفراغ، فإننا يمكن أن نتنبأ بالانطباعات الحسية التي ستتولد لدينا إذا قسنا الزاوية بواسطة المنقلة أو بأي طريقة قياس مقبولة في الفيزياء.

كانت الخطوات التي اتخذها ريمان وهلمهولنز وبوانكاري هي الخطوات الحاسمة في تفهم الهندسة غير الأوقليدية، فقد تعرف هؤلاء العلماء على الوحدة الأساسية بين الهندسة والفيزياء. وعلى أية حال فإن هذا التفهم لم يصبح حقيقة ماثلة إلا عندما بين أينشتاين أن مثل هذا التوحيد بين الهندسة والفيزياء كان أمراً ضرورياً حقاً لاشتقاق الظواهر التي تمت مشاهدتها فعلاً.

١٢ - حواشي الفصل [٣]

١ - في بحثه «The Architecture of Theories»، The Monist (١٨٩١).

٢ - «Republic» لأفلاطون، الكتاب ٦، «The Dialogues of Plato»، ترجمة بنيامين جويت (نيويورك: أبناء تشارلز سكربنر، ١٨٧١). وهناك ترجمة لكتاب «الجمهورية» في طبعة منثور. ويؤكد أفلاطون على أن دراسة الهندسة والرياضيات هي تمهيد لا غنى عنه في تناول الفلسفة.

٣ - بيرس، في المرجع المشار إليه.

٤ - نفس المرجع.

٥ - ريني ديكارت، «Discourse on Method»، ترجمة جون فيتسن (شيكاغو: شركة هنري رجنري، ١٩٤٩)، الجزء ١، صفحة ١٧، ١٨.

٦ - نفس المرجع.

٧ - نفس المرجع.

٨ - نفس المرجع.

٩ - بليز باسكال (١٦٢٣ - ١٦٦٢) عالم وفيلسوف فرنسي. حاول في تفسيره للعلم أن يبين أن الشخصية كلها تكمن في هذا النشاط.

١٠ - بليز باسكال، «The Difference Between the Mathematical and the IntuitiveMind»، «Pensées» (الأفكار)، ترجمة و.س. تروتر (نيويورك، المكتبة الحديثة، ١٩٤١)، قسم ١ صفحة ١.

١١ - وفقاً لمذهب المثالية عند ا.س. أيوينج: يسمى «كانت» مثالياً لأنه يعالج الأشياء الفيزيائية بطريقة مثالية متميزة، محولاً إياها إلى عناصر في الخبرة البشرية، دون أن يترك لمعتنق المذهب الواقعي سوى الشيء في حد ذاته الذي لا يمكن معرفته.

١٢ - سمي «عقلانياً» لأنه يؤمن بأن النصوص العامة الصحيحة بشأن الكون المادي يمكن إيجادها بواسطة العقل دون التجربة الحسية. وتتشابه آراؤه في هذا الصدد مع آراء الفلاسفة السكولاستيين من نوع سان توماس أكويناس.

١٣ - يكون التقدير «مصطنعاً» إذا لم يمكن إثباته بالمنطق المحض. ويكون هذا «مستنتجاً من المقدمات» إذا أمكن توضيح صحته بدون مشاهدات حسية. ويرى كانت أن التقديرات الرياضية (مثل ٥ + ٧ =١٢) هي تقديرات «مصطنعة» و«مستنتجة من المقدمات».

١٤ - أيمانويل كانت، «Polegomena to Any Future Metaphysics». حررها بالانجليزية بول كاروس

(شيكاغو: Open Court Publishing Company، ١٩٠٢)، قسم ٢.

١٥ ـ ووستر بيمان ودافيد سميث، «New Plane and Solid Geometry» (بوسطن: Ginn and Company، ١٨٩٩).

١٦ ـ قدم ديكارت آراءه عن تأسيس الهندسة أولاً في كتابه «Rules for the Direction of the Mind» الذي نشر عام ١٧٠١ بعد وفاته، (القاعدة ٥ والقاعدة ١٤). في عام ١٦٤٤ نشر ديكارت كتابه «Principles of Philosophy». وفي القواعد ١٩٧ ـ ٢٠٠ يفسر ظواهر الطبيعة بالشكل، والمقدار، والحركة.

١٧ ـ جون ستيوارت ميل (١٨٠٦ـ ١٨٧٣) فيلسوف واقتصادي بريطاني.

١٨ ـ «A System of Logic» لجون ستيوارت ميل، الكتاب٢، الفصل ٥.

١٩ ـ كانت، نفس المرجع.

٢٠ ـ كان الرياضي اليوناني أوقليدس أصغر سناً من أفلاطون وأكبر سناً من أرشميدس. وفي حوالي عام ٣٢٥ق.م. ألف كتابه الرئيسي «The Elements» الذي قدم فيه نطاق الاستدلالي في الهندسة.

٢١ ـ قدمت الهندسة اللاأوقليدية بواسطة نيقولاي أ. لوباتشفسكي وولفجانج بولياي الذي لقي تشجيعاً من كارل فريدريك جاوس.

٢٢ ـ نيكولاي ايفانوفتش لوبانشفسكي (١٧٩٣ ـ ١٨٥٦) رياضي روسي.

٢٣ ـ ولفجانج بولياي (١٧٧٥ـ ١٨٥٦) رياضي هنغاري.

٢٤ ـ رودولف كارناب، منطقي وفيلسوف أمريكي على قيد الحياة. «Formalization of Logic» (كمبردج: مطبوعات جامعة هارفارد، ١٩٤٣).

٢٥ ـ وليام كنجدون (١٨٤٥ـ ١٨٧٩) رياضي وفيلسوف انجليزي. نشر أهم كتبه «The Common Sence of the Exact Sciences» عام ١٨٧٥. ونشرت له شركة الفريد ا. نوف طبعة جديدة في نيويورك عام ١٩٤٦.

٢٦ ـ دافيد هلبرت (١٨٦٢ ـ ١٩٤٣) رياضي ألماني. وقد كان كتابه «Foundations of Geometry» فاتحة للطريقة الحديثة للبديهيات.

٢٧ ـ هنري بوانكاري (١٨٥٤ ـ ١٩١٢)، رياضي وفلكي وفيلسوف فرنسي.

٢٨ ـ فرنسيس باكون، «Novum Organum»، ١ ـ ١٤، ١ ـ ١١.

٢٩ ـ لويس روجيه، فيلسوف فرنسي على قيد الحياة، «La Philosophie de Henri Poincaré» (باريس: ف. الكان، ١٩٢٠).

٣٠ ـ برنارد ريمان (١٨٢٦ ـ ١٨٦٦) رياضي ألماني، «On the Hypothesis Upan Which Geometry Is Founded» (١٨٦٧).

٣١ ـ هرمان هلمهولتز (١٨٢١ ـ ١٨٩٤) فيزيائي وفسيولوجي وفيلسوف ألماني.

٣٢ ـ إميل بوريل (١٨٧١ ـ) رياضي ورجل دولة فرنسي.

٣٣ ـ جيوسيبي فيرونيز (١٨٥٤ ـ ١٩١٧) رياضي إيطالي نشر كتابه «Elements of Geometry» (فيرونا ١٨٩٧).

٣٤ ـ فريدريجو إنريك وأمبرتو أمالدي «Elementi di Geometria» (بولونيا: زانيتشيللي، ١٩٠٥). كان إنريك رياضياً كما كان مؤلفاً شهيراً في تاريخ العلم وفلسفته.

٣٥ ـ ألبرت أينشتاين (١٨٧٩ ـ ١٩٥٥). قدم موضوع «Geometry and Experience» إلى الأكاديمية البروسية (برلين) عام ١٩٢١. ترجم له ج.ب. جيفري و و. بيريت إلى الانجليزية «Sidelights on Relativity» (نيويورك: أ.ب. داتون وشركاؤه، ١٩٢١) و(لندن: ميتون وشركاؤه).

٣٦ ـ موريتز باخ (١٨٤٣ـ ١٩٣١) رياضي ألماني.

٣٧ ـ انظر الحاشية ٢٧.

٣٨ ـ أينشتاين، نفس المرجع.

٣٩ ـ ب. و. بريدجمان، «Logic of Modern Physics» (نيويورك: شركة مكميليان، ١٩٢٧).

٤٠ ـ روجييه، نفس المرجع.

٤١ ـ هرمان هلمهولتز، «Popular Lectures on Non- scientific Subjects» الذي ترجمه أ. اتكينسون (لندن: لونجمانز وجرين وشركاؤهما، ١٨٧٣).

[٤]

قوانين الحركة

١ ـ ما قبل جاليليو ونيوتن

سوف نقوم الآن بدراسة أحد العلوم الذي لعب التأكيد العملي فيها دوراً أكبر من دوره في الهندسة. سوف نعود إلى نظرية الحركة، وهي أساسية بالنسبة لكل العلوم. وربما كان وضع نظرية مناسبة للحركة أعظم خطوة في تاريخ العلم. وسوف نجد التمييز بين النظام الشكلي (البديهيات) وبين تفسيره المادي الذي وجدناه في الهندسة، إلا أن الربط بينهما سوف يكون أكثر تعقيداً. وقد تطلب الأمر زمناً طويلاً لكي نصل إلى النظرية الراهنة للحركة، ونحن لا نعرف ما إذا كانت هذه هي الخطة السليمة للمستقبل أم لا. ويجب أن ندرس خلفية هذه النظرية لنعرف كيف تطورت. ولندرك أن نظريات الحركة التي نأخذ بها اليوم لم تكن قائمة دائماً. فالنظريات السابقة كانت مختلفة جداً ولا يمكن أن نعتبرها اليوم نظريات عملية ومع كل، يجب أن نقدر بحق أن النظريات القديمة كان لها جمالها وتماسكها الخاص. ولا يمكننا أن نقول ببساطة إن الناس الذين كانوا يؤمنون بها كانوا «على خطأ». ولكن من المؤكد أنهم كانوا يستخدمون خطة رمزية مختلفة.

وفي حدود ما سجله التاريخ، نرى أن الهندسة كانت علماً مستقراً إلى حد كبير. بل إن الاختلاف بين الهندسة الأوقليدية والهندسة غير الأوقليدية لم يؤثر كثيراً على تطبيق الهندسة على المشكلات التكنولوجية. مع ذلك فإن تاريخ الميكانيكا

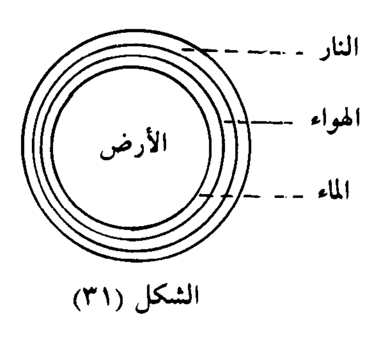
يكشف عن فوارق كبيرة بين الميكانيكا الحديثة (ابتداء / من القرن السابع عشر) والنظريات التي سبقتها. وقد أجاد هربرت بترفيلد[1] وصف هذا التاريخ في كتابه «The Origins of Modern Science». وتستخدم ميكانيكا نيوتن اليوم في جميع ميادين التكنولوجيا باستثناء التكنولوجيا النووية.

وعندما نستخدم تعبير «الميكانيكا الحديثة» فسوف نعني بها «الميكانيكا النيوتونية»، وهي أصل التطبيقات على وجه التقريب. والبديهية الأولى والأساسية في الميكانيكا النيوتونية هي القانون الأول، أو «قانون القصور الذاتي». ونحن نتعلم الآن في المدرسة أنه ينص على أنه «إذا ترك الجسم وشأنه في حالة سكون فإنه يظل في حالة السكون، وإذا كان في حالة حركة فإنه يظل متحركاً في خط مستقيم بنفس سرعته الابتدائية». وأكثر من ذلك ان بعض الكتب الدراسية تحاول أن تقنعنا بأن هذا أمر غني عن البرهان. وسوف نناقش هذا القانون فيما بعد، ولكننا نحب أن نبين هنا أنه على وجه التأكيد ليس غنياً عن البرهان. ولكي نفهم قانون القصور الذاتي يجب أن نناقش ماهية «الحركة في خط مستقيم»، وأن نفهم كذلك معنى النص بأن «الجسم يترك وشأنه». فالحركة الموازية لحافة منضدة مستقيمة الحواف داخل حجرة ليست حركة في خط مستقيم بالنسبة للنجوم الثابتة. والأرض تدور بالنسبة لما يسمى بالنجوم «الثابتة»، وهي في الواقع غير ثابتة. ومن الصعب جداً أن نعرف الحركة في خط مستقيم. وقانون القصور الذاتي قانون شديد التعقيد، وليس على الإطلاق قانوناً معقولاً للفطرة السليمة وليس غنياً عن التعريف.

ما الذي كان الناس يعتقدونه قبل أن يتقبلوا الميكانيكا النيوتونية؟ كيف صيغت نظرية الميكانيكا مثلاً بواسطة أرسطو أو بواسطة الأرسطويين في العصور الوسطى وقد كان سان توماس أكويناس[2] أعظم هؤلاء؟ لقد وصف دانتي[3] هذه النظرية المبكرة للحركة وصفاً تصويرياً في قصيدته «الكوميديا الإلهية». فهو يصور فيرجل وهو يقود دانتي إلى المملكتين السفليين في العالم الآخر، الجحيم والأعراف (موطن يتطهر فيه الأبرار بالعذاب المؤقت بعد الموت)، وعندما يشرف على دخول الجنة يندهش من قدرته على الصعود إليها نظراً لثقل وزنه. لكن «محبوبته القديمة» بياتريس التي ترشده خلال الجنة تزوده بتعليمات بشأن عناصر الميكانيكا، فتقول له إن القانون الأساس للميكانيكا ليس أن كل الأجسام الثقيلة تهبط إلى الأرض،

ولكن كل الأجسام تتحرك نحو المكان الذي تنتمي إليه. وتفسر له قائلة إنه بما أنهما أصبحا الآن روحين فإنهما لا يناقضان قانون الميكانيكا ولكنهما يخضعان له بصعودهما إلى أعلى.

ونحن نؤمن اليوم بأن كل الأجسام تتركب من حوالى مائة عنصر، ولكن الفكرة السائدة في العصور القديمة والوسطى هي أن هناك نوعين من الأجسام، النوع الأرضي والنوع السماوي. وكان المعتقد أن الأجسام الأرضية تتركب من أربعة عناصر مختلفة، التراب (الأرض) والماء والنار والهواء، وأن هذه العناصر الأربعة كانت موزعة في العالم توزيعاً طبيعياً معيناً كما يصور، الشكل (٣١).



الشكل (٣١)

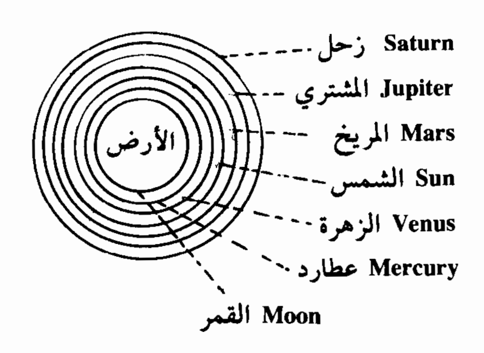
فإذا ظلت كل هذه العناصر في أماكنها فلن تكون هناك حركة على الإطلاق. غير أنه لما كانت هناك بعض الاضطرابات على الأرض، كان لا بد من التمييز بين الحركة الطبيعية والحركة غير الطبيعية. لم يكن طبيعياً أن تؤخذ قطعة أرض إلى أعلى في الهواء ولكن الطبيعي هو أن تسقط عائدة إلى الأرض. كانت حركة طبيعية أن تعود كل الأشياء إلى موطن انتمائها؛ وكل الأجسام تحاول أن تسقط عائدة إلى أماكنها الطبيعية بأسرع ما يمكن، إلا أنه قد تكون هناك بعض العوائق. وبوجه عام، اعتبرت الحركة مركباً من حركات طبيعية وأخرى غير طبيعية.

وللوهلة الأولى لا تبدو هذه النظـرية بالغة السوء، فهي تفسر أكثر الظواهر وضوحاً. ومع ذلك، فهناك صعوبة هامة. إذا أطلقنا قذيفة فإننا يمكننا أن نكسبها حركة عنيفة بينما لا نزال ممسكين بها، إلا أننا نلاحظ أنها تواصل بعد ذلك حركتها غير الطبيعية لحظة. ونحن الآن نعزو ذلك إلى «القصور الذاتي» أما الميكانيكا القديمة فقد كانت تفسر ذلك بطريقتين: الأولى أن الجسم يمكن أن يسعى نحو

«مكانه» (حركة طبيعية)؛ ومن الواضح أنه ليس هناك «مكان» يتجه نحوه الجسم المنطلق متحركاً في اتجاه أفقي. والثانية، أن الجسم يمكن أن يدفع «بالعنف»، وليكن بأن يدفعه المرء بيده مباشرة. وبما أن اليد قد لمست الجسم المقذوف في اللحظة الأولى فقط، فإن استمرار حركة الجسم في اتجاه افقي كان يفسر بأن الهواء يدفعه في هذا الاتجاه دفعاً مستمراً. وقد نجمت صعوبة أخرى وهي أنه طبقاً للنظرية السابقة فإن الحجر عندما يسقط إلى أسفل يجب أن يفعل ذلك بسرعة ثابتة لأن سرعة الجسم كان يحددها فقط اندفاعها نحو «مكانها الطبيعي»، ومقاومة الهواء. غير أنه كان معروفاً أن الحجر الساقط يتحرك متسارعاً (بعجلة). كان هناك تفسيران لهذا الأمر: العمود المتزايد الطول من الهواء، الذي يدفع الجسم أثناء سقوطه، والنظرية القائلة بأنه كلما ازداد اقترابه من مكانه كلما ازداد ابتهاجاً وتزايدت سرعة هبوطه.

٢ ـ القوانين القديمة للحركة كانت «عضوانية»

يمكن لهذه القوانين القديمة والوسيطة أن نسميها «عضوانية»؛ كانت تعامل حركة الأجسام التي ليس فيها حياة (مثل الصخور) بتماثلها مع حركة الحيوانات. وكما نقول عن الكلب إنه يقوم بحركة معينة ليحصل على قطعة لحم معينة، فقد كانت ميكانيكا العصور الوسطى تفترض أن قطعة الحجر تسقط لكي تصل إلى «مكانها الطبيعي». فماذا عن الأجسام السماوية؟ فبعد حلقة النار المبينة بالشكل (٣١) تبدأ مملكة الأجسام السماوية والأجرام السيارة التي يعتبر أنها تدور. تتكون الأجسام السماوية من مواد أرق من الأجسام الأرضية. وينتمي إلى كل من هذه الكرات السبع روح، أي نوع من الآلهة. وقد ثارت آراء مختلفة حول هذه الكرات، إلا أن الفكرة العامة هي أنها تتكون من مادة غير أرضية. وقد وصفها بعض المؤلفين بأنها كرات بللورية. والصفة المميزة الأساسية لهذه الكرات هي أنها تتحرك بطريقة مثالية للغاية في مسار دائري منتظم ودائم. فماذا يوجد إذن خارج الكرة السابعة؟ الكرة الثامنة التي تضم النجوم الثابتة ـ فقد كان المفروض أن النجوم مثبتة على هذه الكرة الثامنة وأنها تدور معها. ويقع الفردوسي فيما بعد الكرة الثامنة. وقد قابلت بياتريس دانتي عند مدخل الكرة القمرية، ويصف الشاعر كل السموات السبع.



الشكل (٣٢)

ويتمثل الهدف من النظرية بأجمعها في السؤال التالي: ما الذي يجعل هذه السماوات تتحرك دون توقف؟ كان هناك رأي يقول بأنها تستطيع أن تحرك نفسها بفضل الروح الكامنة في كل منها. وقد وصف ورنرجيجر في كتابه «أرسطو» كيف قام أرسطو نفسه بتعديل آرائه تدريجياً. وفي نهاية الأمر برزت فكرة «المحرك الأساسي» - ومؤداها أنه توجد كرة تاسعة بعد الكرة الثامنة، وأن هذه الكرة التاسعة لا تتحرك ولكنها تحرك كل شيء. أما خبرة الفطرة السليمة التي تطورت فيما بعد إلى قانون القصور الذاتي فقد صاغها بعض علماء العصور القديمة والوسطى على نحو يشبه القانون شبهاً غامضاً ولكنه من الناحية العملية أدى إلى استنتاجات مخالفة تماماً. ولا تتعلق هذه الاستنتاجات بالميكانيكا بمعناها الحديث فحسب، بل تتعلق أيضاً بمجال السلوك الإنساني الذي توجهه الميتافيزياء والدين. والصيغة التي وردت عن أرسطو وتوماس أكويناس تقول: «إن أي شيء متحرك إنما يحركه شيء آخر». ومن الواضح أن هذا النص يصف بوجه عام خبرات حياتنا المضادة. وطبقاً لأرسطو وأكويناس فإن هذا النص «حقيقة فلسفية» مشتقة منطقياً من «المبادىء الجلية». وقد عرض الفلاسفة أنواعاً كثيرة من الاستنباطات. وسوف أذكر مناقشة واحدة قدمها سان توماس أكويناس: لقد حاول أن يفند الاعتقاد الجازم بأنه «يمكن للجسم أن يتحرك من تلقاء نفسه دون أن يؤثر عليه جسم آخر». ولنفترض أن جسماً معيناً أمكن تحريكه ككل «من تلقاء نفسه». إذن عندما كان جزء منه في حالة سكون كان الجسم كله ساكناً، وعندما حرك جزء منه حرك الجسم كله. ومن ثم فإن حركة جزء من الجسم تتوقف على حركة جزء آخر.

ومن ثم فإن الجسم ككل خلافاً للفرض لم يتحرك من تلقاء نفسه. ومن ثم فقد وضح أن «أي شيء يتحرك إنما يحركه شيء آخر».

وقد اشتق فلاسفة العصور القديمة والوسطى من هذا النص نتائج عميقة الأثر. كتب سان توماس يقول(٥):

> إن أي شيء يتحرك إنما يحركه شيء آخر: إننا نحس بوضوح أن شيئاً ما يتحرك، وليكن الشمس على سبيل المثال. ومن ثم فإن شيئاً آخر محركاً لها قد جعلها تتحرك. والشيء الذي حركه إما أن يكون هو نفسه متحركاً وإما ألا يكون كذلك. فإذا لم يكن متحركاً فإن ذلك يثبت أنه لا بد أن نفترض محركاً لا يتحرك؛ وهذا هو ما نسميه الله. أما إذا كان المحرك متحركاً فإنه يتحرك بواسطة محرك آخر. ومن ثم فإننا إما أن نستطرد إلى ما لا نهاية، وأما أن نصل إلى محرك لا يتحرك. غير أنه من المستحيل أن نستطرد إلى ما لا نهاية ومن ثم فإنه يتحتم أن نفترض محركاً لا يتحرك.

وعلى هذا النحو أمكن من المبادىء الجلية، استنباط وجود «محرك أساسي» وهو الذي عرف بالكرة السماوية التاسعة التي تحتوي على النجوم الثابتة كما سبق أن علمنا. وكان المعتقد أن كرة النجوم الثابتة كانت بدورها تحرك كل الكرات الأخرى، وذلك بأن تحرك الكرة التي تليها، وهذه تحرك الكرة التي تليها وهكذا وعلى هذا فإن كل الحركة مستمدة من كرة النجوم الثابتة. وهي أصل عملية التنجيم. وكما سبق أن شهدنا، كان توماس أكويناس يعتبر أن فكرة المحرك الأساسي تقوم دليلاً على وجود الله، وعلى هذا فقد كانت نقطة هامة في صورة الكون، وهي متصلة بالدين على وجه التأكيد، كما أن لها جذوراً عميقة في فكر العصور الوسطى، أو، بتعبير زمننا هذا، في نمط سلوك إنسان العصور الوسطى.

ويمكن تطبيق النظرية العضوانية على الحيوانات كما تطبق على الطبيعة غير الحية؛ وفي الواقع كان تطبيقها على الحيوانات أيسر. وبالرغم من التعديلات التي كانت بمثابة انتقال تدريجي إلى النظرية الحديثة، فإن النظرية العضوانية قد سيطرت على أفكار العلماء حتى عام ١٦٠٠ تقريباً. وفي حقيقة الأمر أن هذه النظرية لم تختف اختفاءً كاملاً في أي وقت. فبالرغم من أن دورها في العلم قد تلاشى، فإنها قد بقيت حتى اليوم في التفسيرات الفلسفية للعلم.

وإذا استخدمنا السلسلة المجازية العلم / الفلسفة، فسوف نقول: إن هذه النظرية تلبي حاجة الناس إلى نظام جلي ومعقول للكون، ولكننا إذا درسنا السلسلة من طرفها الفلسفي إلى طرفها العلمي لوجدنا صعوبات في مجال الأجسام السماوية والأجسام الأرضية على حد سواء. أما الصعوبات الخاصة بالأجسام السماوية فقد شدت انتباه اليونانيين. فالقوانين التي تحكم الحركات الظاهرة للكواكب (بما فيها الشمس والقمر) كانت معروفة لعدة قرون ـ وعلى سبيل المثال، كانوا يعرفون كيف يتنبأون بمواعيد كسوف الشمس وخسوف القمر. وسرعان ما أصبح واضحاً أن القوانين العامة للنظرية العضوانية لم تكن متفقة تماماً مع هذه القوانين الاختبارية القديمة. وكان ذلك واحداً من أسباب حدوث الصدع الذي نشأ بين الفلسفة والعلم ـ فقد أصبح الإنسان معتاداً على وجود نظامين للكون، أحدهما في الفلك والفيزياء للأغراض التقنية، والآخر في الفلسفة من أجل «الحقيقة الجلية». انظر الفصلين (١، ٢).

وكانت هناك أيضاً صعوبات في تفسير حركة الأجسام الأرضية ـ وعلى سبيل المثال حركة المقذوفات المنطلقة. فالمركبة الأفقية للسرعة تبقى ثابتة. وكما علمنا في القسم [آ]، فإن هذه لا يمكن أن تكون حركة «طبيعية» أو «غير طبيعية أو عنيفة». وقد كانت هذه الصعوبات نواة تبلورت حولها التعديلات التي طرأت على النظرية العضوانية، غير أنه حتى عام ١٦٠٠ لم تكن هناك نظرية مقنعة يمكن أن تشتق منها النتائج الرياضية المتعلقة بحركات الأجسام الأرضية. ولهذا السبب لم تكن تشغل هذه الصعوبات جانباً كبيراً من المناقشات الفلسفية مثل ما شغلته الصعوبات الخاصة بالحركات السماوية. وفي عام ١٦٠٠ بدأ جاليليو يسد الفجوة بين الظواهر السماوية والظواهر الفلكية ثم أكمل نيوتن ما بدأه جاليليو، وكانت هذه أهم نقطة تحول في تاريخ فلسفة العلم.

٣ ـ الكون كأحد الكائنات

لكي نفهم القوانين «العضوانية» للحركة فهماً دقيقاً علينا أن نتبين أنها كانت تمثل جانباً من مفهوم عام وهو: التماثل بين الكائن البشري والكون. والنص التالي هو أحد النصوص التي تميز بها الفيلسوف اليهودي موسى مايمونيدس[٦] في العصور الوسطى، والذي كتب عام ١١٩٤ يقول:

اعلم أن الكون بأسره ليس إلا كائناً فرداً. . . وكما أن الفرد يتكون من عديد من المواد الصلبة، مثل اللحم والعظام والأعصاب وسوائل منوعة وعناصر غازية منوعة. . . فإن الكون بأسره يتكون بالمثل من أجرام سماوية، ومن العناصر الأربعة ومركباتها. . . وتشغل الأرض الترابية مركز الكون ، ويحيط بها الماء، والماء مغلف بالهواء الذي تغلفه النار، وهذه بدورها تغلفها المادة الخامسة (الجوهر).

ويبذل مايمونيدس قصارى جهده لبيان التماثل بين جسم الانسان وبين الكون المادي، ويقول:

إن الجزء الأساسي في جسم الإنسان، وهو القلب، في حالة حركة مستمرة، وهو مصدر كل حركة في الجسم. . . . وبطريقة مشابهة تسيطر الكرة الخارجية بحركتها على كل جزء من أجزاء الكون.

ويوضح مايمونيدس في الفقرة التالية لب النظرية العضوانية توضيحاً دقيقاً بالتأكيد على تماثل الجسم البشري مع الكون:

عندما تتوقف نبضات القلب لحظة يموت الإنسان وتنتهي كل حركته وقوته. وعلى نحو مماثل سوف يهلك الكون جميعة ويختفي كل شيء من الوجود إذا توقفت الكرات عن الحركة.

ويصبح هذا التماثل بين حركات الأجسام غير الحية من جانب، والأجسام البشرية والحيوانية من جانب آخر، يصبح واضحاً جداً أمامنا إذا تصفحنا كتاب أرسطو «On the Movements of the Elements»[(٧)]. شرح أرسطو كيف نشأت الحركة في الكون. وقد لاحظ أن المرء إذا تغاضى عن التأثير المتبادل بين الأجسام غير الحية فإنه يجد أن «الأشياء التي فيها حياة» هي سبب الحركة. ومن الأمثلة البسيطة على ذلك عندما يقذف اللاعب بالكرة. وقد أكد أرسطو على أن:

. . . كل الأشياء الحية تتحرك بواسطة شيء ويحركها هذا الشيء، بحيث يكون هذا الشيء هو الحد في كل حركتها، أي يكون النهاية المنظورة. إننا نرى أن الكائن الحي يحركه الإدراك، والخيال، والفرض، والتمني، والشهية. وكل هذه تخضع للعقل والرغبات.

ويقارن أرسطو بين دور الرغبات في تحركات الناس أو الحيوانات وبين دور

المحرك الذي لا يمكن تحريكه (المحرك الأساسي) في حركة الأجسام السماوية على النحو التالي:

> **فيما يتعلق بما يتحرك أبدياً بواسطة المحرك الأبدي فهو يتحرك بنفس الطريقة التي يتحرك بها أي مخلوق حي، ولكنهما يختلفان في ناحية أخرى. فبينما تتحرك الأجسام السماوية بمؤثر خارجي، فإن حركة الكائنات الحية لا نهاية.**

وقد ناقش أرسطو في كتابه عن «الفيزياء» حركة الحيوانات مثل ما ناقش حركة السفن. وقد طبق نفس القواعد العامة على كل منهما. وقد علمنا في القسم [٢] أنه طبقاً للقوانين العضوآنية للحركة لا يمكن لأي جسم أن يتحرك من تلقاء نفسه، فلا بد أن يحركه جسم آخر. ومع ذلك فقد يبدو أن الكائن الحي أو الحيوان يمكن أن يتحرك «من تلقاء نفسه». وقد أزال أرسطو في كتابه «الفيزياء»(٨) هذا التناقض الظاهري بأن أكد على أن «في الحيوانات، مثل ما في السفن وفي الأشياء غير المنظمة طبيعياً، نجد أن ما يسبب الحركة شيء مختلف عما يعاني الحركة، وذلك فقط بمعنى أن الحيوان ككل هو الذي يسبب حركته». وقد شرح أرسطو هذا الوضع بطريقة أكثر تعميماً عندما قال:

> **عندما يحرك شيء نفسه فإن جزءاً منه يكون هو المحرك ويكون جزء آخر هو المتحرك... ومن ثم فإن هذا الشيء ككل يمكن أن نميز فيه بين جزء يعطي الحركة دون أن يتحرك وبين جزء آخر يتحرك... فعندما نقول إن (آ ب) يتحرك من تلقاء نفسه يمكن أن نقول إنه يتحرك بواسطة (آ).**

وبعبارة أخرى، كان المعتقد أن العقل أو الرغبة هي التي تحرك الجسم، مثلما تحرك الآلة سفينة بخارية، إذا شئنا أن نستخدم مثلاً حديثاً. وفي رأي أرسطو وتوماس أكويناس أن تأثير الرغبة البشرية على حركة الجسم البشري هو من نفس نوع تأثير «القوة» الميكانيكية التي تمارسها الرياح عندما تهب على شراع السفينة وطبقاً للقوانين «العضوانية» للحركة فإن تحرك الإنسان تحت تأثير إرادته هو من نفس نوع الواقعة «البدنية» كتحرك السفينة تحت تأثير الرياح.

وعندما اسقطت القوانين «العضوانية» للحركة كقوانين مادية بعد زمن جاليليو ونيوتن أصبح تأثير الارادة البشرية على حركات الأطراف واقعة مختلفة تماماً في نوعها عن واقعة تأثير الرياح على تحرك السفينة. ففي الحالة الأولى يستعين المرء

«بتأثير العقل على الجسم» وفي الحالة الثانية تؤثر المادة على جزء آخر من المادة. وقد ميز بين «القوة الذهنية أو الروحية» وبين «القوة المادية» وغالباً ما تردد اعتقاد بأنه من «المفهوم فهماً مباشراً» من «خبرتنا الداخلية» كيف تنجح إرادتنا في رفع أقدامنا، ولكننا «لا» نفهم بخبرتنا الداخلية المباشرة كيف تحرك الرياح سفينة. ولذلك فقد أصبح من الشائع بين العلماء أن يقال: إذا كانت السفينة تتحرك بتأثير الرياح على شراعها فإن تلك «حقيقة» لا يمكن «فهمها» فلسفياً. وهي حقيقة عسيرة لا مفر من تقبلها. ويمكننا مع ذلك أن نحسن تطور فهمنا بالتأكيد على التماثل بين السفينة والإنسان. ونحن نعبر عن هذا التماثل بقولنا إن السفينة تمارس «قوة» على الشراع. حيث تذكرنا كلمة «قوة» بإرادتنا، أي بالقوة بالمعنى الذهني. وبهذه الطريقة يدخل المفهوم الذهني «للقوة» في الميكانيكا التقنية. وسوف يقول أكثر المهندسين تشدداً إن تياراً من الهواء يمارس «قوة» على الطائرة، ثم يعتقد بأنه من خلال هذا التماثل مع تأثير«إرادتنا» على أطرافنا فإنه يكتسب بذلك «فهماً» لحركة الطائرة.

نجد بهذه الطريقة أنه قد حدث قدر معين من تغلغل «القوانين العضوانية للحركة» في المكانيكا الحديثة. وهذا أمر ملحوظ في أي فصل دراسي أو ورشة حيث يجري تدريس قوانين الحركة أو تطبيقها. وقد كان هناك مبرر لتلك البقايا من العلم «العضواني» في مرحلة الميكانيكا النيوتونية ثم بعد ذلك كوسيلة «لفهم» حركة الأجسام. كان هناك إحساس بأنه بدون هذا التماثل بين القوة «الميكانيكية» وبين «قوة الإرادة» يمكننا أن نحسب سلوك الأجهزة الميكانيكية ولكننا لن «نفهمها». وبتعبير «فهم» في مقابل «مجرد حساب» يشير إلى ارتياح نفساني عجيب، أو التحرر من توتر مؤلم معين. ومن الواضح أن ادخال مفهوم «القوة» في الميكانيكا لا يزودنا بهذا الارتياح إلا إذا اعتبرنا أنه من المسلم به أننا «نفهم» «تأثير» «إرادتنا» على أرجلنا أفضل من فهمنا لتأثير آلة ميكانيكية على حبل الشد.

ويمكن أن يوقف تغلغل القوانين القديمة للعلوم العضوانية في العلوم الحديثة إلى أن يتضح أننا نفهم تأثير قوة إرادتنا على عضلاتنا فهماً لا يزيد أو يقل عن فهمنا لتأثير جذب الحبل على السفينة. وقد نتذكر كيف أن نيوتن أثناء خلافه مع ليبنيز[٩] عرض موضوع تأثير الكتلة الهابطة على الساعة وتأثير إرادة الإنسان على العضلات

على أنهما ظاهرتان من نفس النوع. ويمكن في كل من الحالتين مشاهدة نتائج منتظمة إلا أنه لا يمكن «فهم» أي «تسبب» ويرجع الفضل في توضيح هذه النقطة إلى الإنجاز الكبير الذي حققه دافيد هيوم[١٠] في منتصف القرن الثامن عشر، وفي تطهير الميكانيكا من مخلفات القوانين «العضوانية».

> إن تأثير الإرادة على أعضاء الجسم. . . هي حقيقة يمكن معرفتها فقط بالتجربة، شأنها في ذلك شأن غيرها من الوقائع الطبيعية، وهي لا يمكن التنبؤ بها من خلال أي طاقة أو قوة ظاهرية في السبب الذي يربطها بالنتيجة والذي جعل من الشيء نتيجة حتمية لشيء آخر. وحركة جسم الإنسان تتبع أوامر إرادته، ونحن نعي ذلك في كل لحظة. لكن الوسيلة. . . التي ستؤدي بها الإرادة مثل هذه العملية فوق العادية: فنحن لا نزال بعيدين جداً عن أن نكون على وعي مباشر بها بحيث يجب أن تعجز دونها أبرع تحقيقاتنا.

وعلى ذلك فإن هيوم يؤكد أن تأثير إرادتنا على جسمنا هو شيء غامض غموض ما نسميه «بالتخاطر» (توارد الخواطر أو اتصال عقل بآخر بطريقة غير عادية). كتب هيوم يقول: «هل نحن مفوضون من قبل رغبة سرية، بأن نزيل الجبال، وأن نسيطر على الكواكب في مداراتها: إن مثل هذه السلطة الفائقة لن تكون فوق عادية كما لن تكون فوق قدرتنا أكثر من تأثير روحنا على جسمنا. وبناء على كل ذلك، رفض هيوم الرأي القائل بأننا عن طريق التماثل مع قوة إرادتنا يمكننا «فهم» فعل القوة الميكانيكية. ويستطرد هيوم:

> ومن ثم يمكننا أن نستخلص من كل ذلك، دون شطط على ما آمل، ولكن على نحو مؤكد، أن فكرة القوة ليست مأخوذة عن أي عاطفة أو شعور بالقوة الكامنة فينا. عندما نبدأ الحركة الحيوانية أو تستخدم أطرافنا في أداء مهمتها المناسبة.

وإذا قبلنا تحليل هيوم لخبرتنا الذهنية فسوف تختفي مخلفات النظرية العضوانية اختفاءً تاماً من الميكانيكا العلمية؛ ولكنها ستحتفظ بدورها إذا تمسكنا بالتماثل بين القوة الميكانيكية وقوة الإرادة، ليس من أجل ما تبثه من شعور بالارتياح ولكن من أجل منافع أخرى نحققها من وراء التماثل العضواني. ونحن نذكر التأثير المباشر للصورة العضوانية للكون على موقفنا تجاه التقاليد الدينية والأخلاقية والاجتماعية. ونحن نلاحظ اليوم أن الإيمان بالقوانين العضوانية للحركة ليس مبنياً على العلم بمعناه المحدد ولكنه قائم على «تفسير ميتافيزيائي

للعلم» كثيراً ما يخدم أغراضاً عملية. بل لقد قيل إن الإيمان بحقيقة الميكانيكا العضوانية هو لب كل التفسيرات الميتافيزيائية للعلم. وقد كتب أوجوست كومت في كتابه «Positive Philosophy»[11] يقول: «تتمثل روح الفلسفة اللاهوتية والميتافيزيائية جميعها في تصور كل الظواهر على أنها مماثلة للظاهرة الوحيدة المعروفة من خلال الشعور الفوري ـ وهي الحياة».

٤ ـ النظام الكوبرنيكي والقوانين العضوانية للحركة

وجدنا في مثال الهندسة أنه ليس من الأمور العملية أن نحاول أن نضع بطريقة مباشرة وصفاً للحقائق المشاهدة، ولكن من الأفضل أن نضع نظاماً شكلياً (من البديهيات) يصف الحقائق المشاهدة وصفاً غير مباشر. وأفضل وصف للحقائق المشاهدة هو القيام بجولة حول النظام الشكلي وتفسيرات المادية. لقد عرفنا النظريه الأرسطوية للحركة التي تقارن بين كل حركة بحركة أحد الكائنات. والمفهومان الأساسيان في حركة الأجسام السماوية هما بداية الحركة ونهايتها؛ أما ما يحدث بين البداية والنهاية فلم يكن موضع اهتمام كبير. وقد تركز الاهتمام على المكان الذي يتجه إليه الجسم؛ فقد كانت نهاية الحركة مثار اهتمام أكبر كثيراً من الاهتمام بالحركة ذاتها ـ وهذا أمر يتفق والخصائص المميزة للفكرة «العضوانية». كانت الفكرة السائدة هي أن الحركات في حد ذاتها كانت حركات غاية في التعقيد، وعرضية ومتقلبة بحيث لم تكن تخضع لأي قوانين واضحة. وكان البيولوجيون والفسيولوجيون يضعون دائماً حركة الأحياء بنفس هذا الوصف. ونحن نصف حركة يد الإنسان بأن نصف موضعها الابتدائي وموضعها النهائي ولا نعير اهتماماً للمدار الذي تعبره العضلات والعظام، فنذكر في ابهام «انقباض» العضلات «واسترخاءها» دون أن نشير إلى الحالات الوسط بين هذه وتلك.

وتذكرنا بعض النظريات في الفيزياء الحديثة بهذه الأفكار. وعلى سبيل المثال، نرى في النموذج الأصلي الذي وصفه بوهر[12] لذرة الهيدروجين أن الكتروناً يدور حول النواة في مدارات معينة مستقرة ـ إذا استثير الالكترون فإنه يقفز من أحد هذه المدارات إلى مدار آخر. وقد اهتمت النظرية فقط بهذه الحالات المستقرة؛ أما ماذا فعله الالكترون أثناء قفزه فلم يكن موضع فحص. ومن ثم نرى أن الاهتمام لا يزال في بعض الأحيان منصباً على هدف الحركة أو نهايتها أكثر

من اهتمامه بكيفية حدوثها. وفي قديم الأزمان كانت فكرة أن أي شيء إنما يحدث وفقاً لقوانين غاية في البساطة وأنه ما من شيء يحدث نتيجة للصدفة، كانت هذه الفكرة مقصورة على الأجسام السماوية ـ وكانت حركات الأجسام الأرضية تتسم دائماً بالصفة العرضية. وكان الاعتقاد بأن الكائنات الأرضية تخضع لقوانين ليست غاية في الدقة أو غاية في الجمال. كان هذا الاعتقاد يميز وضعاً معيناً بالنسبة للكون.

وإذا تمعنا في ما كتبه كوبرنيكوس(١٣) فإننا نجد أنه أيضاً كان لا يزال مصطبغاً بأفكار الفيزياء العضوانية. فقد درس قضايا مثل «أيهما أكرم للجسم، أن يتحرك أم أن يكون ساكناً؟» لقد كان يرى أن من الأكرم لجسم مثل الشمس أن تكون ساكنة وأن تعطي الضوء في مركز الكون. ويمثل كوبرنيكوس مرحلة انتقال بين فيزياء العصور الوسطى والفيزياء الحديثة المتعارف على أنها بدأت بجاليليو. وعندما قدم كوبرنيكوس نظريته القائلة بأن الشمس ساكنة في مركز الكون وأن الأرض تدور حولها في مدار دائري، كما أنها تدور حول نفسها يومياً من الغرب إلى الشرق، كان من الواضح أن نظريته تتعارض تعارضاً فاحشاً مع قوانين الفيزياء العضوانية المعترف بها عموماً. وطبقاً لهذه القوانين فإن الأرض تتكون من مواد أرضية، وتخضع في حركتها لقوانين لا تنطبق على الأجسام السماوية التي تتكون من مواد أكثر نبلاً. ومن ثم فإنه يستحيل أن تكون الأرض متحركة في مدار دائري حول مركز الكون. ويجب أن تكون الأرض، باعتبارها جسماً ثقيلاً، متحركة في خط مستقيم نحو «مكانها الطبيعي» بالقرب من مركز الكون. أما أن تبقى الأرض على بعد ثابت من المركز فهي فكرة تتعارض مع أرسخ تجارب الإنسان بالنسبة لسلوك «الأجسام الثقيلة» المتكونة من مواد أرضية. ويمكننا أن نستشهد ببعض الحقائق المرئية ضد النظرية الكوبيرنيكية: إذا نظرنا إلى السحب الطاقية في السماء، فيجب أن نتوقع أنها تتحرك بسرعة مشتركة نحو الغرب إذا كانت الأرض تدور نحو الشرق. ولكننا لا نشهد تحركاً يذكر نحو الغرب. وقد اقترح كوبيرنيكوس ان الأرض بدورانها نحو الشرق ينشأ بينها وبين الجو والسحب نوع من الاحتكاك فتحملها معها في هذا الاتجاه؛ ولهذا لا تتحرك السحب نحو الغرب.

وإذا راقبنا حجراً ساقطاً نجد أنه يصل إلى الأرض عند موضع غربي الموقع

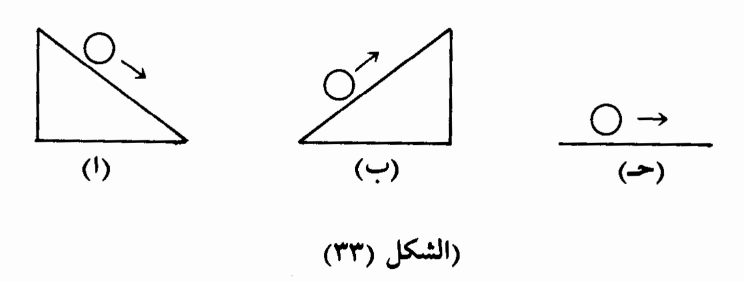
الذي أسقط منه، وذلك لنفس السبب. وفي الواقع أن الحجر الساقط يتحرك في اتجاه عمودي دون أن ينحرف غرباً. وقد اقترح كوبيرنيكوس في هذا الصدد أيضاً أن الهواء الذي يتحرك شرقاً مع الأرض قد يحمل معه الحجر، غير أنه لما لم يكن يبدو من المعقول أن يحمل الهواء معه حجراً ثقيلاً، فقد اقترح كوبيرنيكوس تفسيراً بديلاً. فقد افترض أن «المكان الطبيعي» لقطعة من الأرض، مثل الحجر، هو بالقرب من مركز الأرض، وليس بالقرب من مركز الكون، الذي كان كوبيرنيكوس يعتقد أنه الشمس. ومن ثم فإن الحجر عندما يسقط، فإنه يحمل نحو الشرق بسبب الاحتكاك بالهواء. ولكن لأنه يجذب نحو مكانه الطبيعي وهو سطح الأرض. ويمكننا أن نقول إلى حد ما أن كوبيرنيكوس قد سبق بهذا الفرض نظرية نيوتن للجاذبية العامة.

وعلى أية حال فلكي يصبح النظام الشمسيمركزي متلائماً مع العلوم المادية، كان لا بد من ترويض النظرية العضوانية القديمة للحركة. وفي الواقع أن كوبيرنيكوس لم تكن لديه نظرية متماسكة للحركة. ولم يكن يبدو أن نظرية جديدة بديلة للقوانين العضوانية للحركة يمكن أن تظهر قبل أن تصاغ تجارب الفطرة السليمة بشأن بلادة الأجسام على نحو يكون بعيداً عن قوانين الفطرة السليمة أكثر من الصيغة القديمة القائلة بأن «الجسم لا يمكن أن يتحرك ما لم يحركه جسم آخر».

قدم جاليليو(١٤) تعميماً جديداً لخبرتنا القائمة على الفطرة السليمة. فقد قال إن الجسم المتحرك لا يتوقف من تلقاء نفسه؛ إنه يستمر في التحرك دون أن يدفع في كل لحظة؛ وفي الواقع أن الجسم المتحرك سوف يستمر في تحركه في خط مستقيم بسرعة غير متناقصة. وقد وصل جاليليو إلى هذا التعميم بدراسة حركة جسم أملس فوق سطح مستو أملس مائل (انظر الشكل ٣٣).

وإذا تدحرجت الكرة في (آ) إلى أسفل فإن سرعتها تتزايد. وإذا تحركت الكرة في (ب) إلى أعلى فإن سرعتها تتناقص ويثبت جاليليو من ذلك أنه لا بد من وجود حالة (حـ) تمثل حداً بين هاتين الحالتين. إذا كان السفح موازياً لسطح الأرض (عمودياً على اتجاه الجاذبية)، فإن الكرة المدفوعة تتحرك موازية لسطح الأرض في اتجاه ثابت وبسرعة ثابتة. وتلك هي الصياغة الأصلية لقانون القصور الذاتي. ومع توخي الدقة، ينص القانون على أن الجسم إذا حرك في اتجاه أفقي

فإنه يحافظ على سرعته واتجاهه بالنسبة لسطح الأرض. ومن الواضح أن مسار الجسم هو خط مستقيم فقط في الحدود التي نعتبر فيها سطح الأرض سطحاً مستوياً. وهذا يعني أن القانون ليس صالحاً إلا في حدود معينة. إنه لا يذكر شيئاً عن الحركة في الفضاء الكوني.



(الشكل (٣٣)

لن نتناول هنا التطورات التاريخية لهذا التعميم. وسوف نقفز إلى الصيغة النهائية للقانون كما نجدها في مؤلف نيوتن «Mathematical Principles of Natural Philosophy»[١٥] وهو يفترض أن الجسم الذي لا يحركه جسم آخر يظل متحركاً بسرعة ثابتة في خط مستقيم حتى اللانهاية ما لم تعترضه عقبات. وهذا المفهوم يحطم كل البنيان الأرسطوي للكون، القائل بأن «الحركة الطبيعية» للحجر تتجه به نحو «مكانه الطبيعي» في الكون. وكان هذا الأخير نظاماً مغلقاً للكرات البللورية. والفضاء الكوني بالنسبة لنيوتن كان فضاء مفرغاً تهيم فيه الأجسام على نحو «همجي»، ولا تتجه نحو «مكانها اللائق». والصورة الكاملة لم تعد صورة أجسام تتحرك حركة هادفة طبقاً لقواعد مرور خالدة.

ومن ثم فقد واجه المفهوم الحديث عقبات ضخمة عندما درس من وجهة نظر نظام الكون في العصور الوسطى. فقد تخلى عن مفهوم «المحرك الأساس»، كما حطم الأسس التي أقيمت عليها براهين وجود الله. كانت صورة الكون في حاجة إلى أن يعاد بناؤها بأكملها، ليس في مجال الفيزياء وحدها ولكن أيضاً في علم الكهنوت وعلم الآداب. وعلى سبيل المثال، ينطوي المفهوم الجديد على أن الأجسام السماوية لا تختلف عن تلك التي نراها على الأرض. وقد أرسل المسيح لإنقاذ الأرض، ولكن إذا لم تكن الأرض مختلفة عن الأجرام السماوية الأخرى فلماذا لم يرسل الله مخلصاً إلى الكواكب الأخرى أيضاً؟ وقد أعدم جوردانو

برونو[16] حرقاً في ١٧ شباط ـ فبراير عام ١٦٠٠ لأنه نادى بإيمانه بتعدد الأرض. ودائماً ارتبط تفسير أشياء مثل الميكانيكا بالقوى السياسية لكي تفرض على العلم مبادىء معينة. وقد شهدنا هذا الأمر فعلاً سواء في أفلاطون أو في العصور الوسطى.

٥ ـ قوانين الحركة لنيوتن

سوف نتحدث الآن عن الميكانيكا كما تحدثنا عن الهندسةمن وجهة النظر «العلمية البحتة». وسوف نجد نقاطاً هامة عندما نقارن بين الهندسة والميكانيكا. هل لمبادىء الميكانيكا أهميـة فيما يتعلق بالعالم الخارجي، أم أنها مثل بديهيات الهندسة تؤلف خطة «أصولية» لا شأن لها في حد ذاتها بالعالم الخارجي؟ ولنتذكر أولاً قوانين نيوتن[17]: ينص القانون الأول (قانون القصور الذاتي) على أنه في حالة عدم وجود قوة غير متوازنة تؤثر على الجسم فإنه يظل في حالة سكون، وإذا كان الجسم في حالة حركة فإنه يظل متحركاً في خط مستقيم دون أن تنقص سرعته. أما القانون الثاني (قانون القوة) فإنه ينص على أن القوة غير المتوازنة التي تؤثر على الجسم تساوي حاصل ضرب كتلة الجسم في العجلة الناشئة عن هذه القوة. ويجدر بنا أن نتذكر أن المقصود بالعجلة هنا هو أي تغير في السرعة من حيث المقدار أو الاتجاه.

ما معنى هذين القانونين لنيوتن؟ سوف نجد أن صياغة نيوتن لهذين القانونين لا تنطوي على معناهما التشغيلي. فما هو المعنى التشغيلي لقانون القصور الذاتي؟

إن كثيراً من اللبس الذي يقع فيه طلاب الفيزياء يرجع إلى أن معظم الكتب الدراسية لا تذكر أن هذا القانون لا معنى له ما لم يحدد التعريف التشغيلي لمصطلحاته. والمشكلة نفسها قائمة أيضاً بالنسبة للقانون الثاني ـ «العجلة» بالنسبة لأي شيء؟ لا بد وأن تكون «عجلة بالنسبة لجسم معين»، إلا أن مثل هذا الجسم لم يذكر في نص القانون، ولذلك فإن القانون في حد ذاته لا معنى له. ونجد في معظم الكتب الدراسية والمناهج الأولية في الميكانيكا أن المصطلح «الحركة في خط مستقيم» والمصطلح «العجلة» مستخدمان استخداماً ركيكاً حتى دون إشارة إلى

ضرورة تحديد نظام الإسناد الفيزيائي الذي يعود إليه هذان المصطلحان. وبعبارة أخرى، يجب تحديد الجسم المادي الذي افترض أن قانوني نيوتن ينطبقان عليه. وعندئذ فقط نستطيع أن نعتبر أن هذين القانونين هما نصان بشأن الحقائق المادية.

وعلى أية حال، يمكنك أن تضع النظرية الكاملة عن الحركات التي يمكن للجسم أن يقوم بها تحت تأثير قوى معينة بالنسبة إلى تلك النظم من الإحداثيات التي افترضت أن قوانين نيوتن ينطبق عليها. وإذا كانت لديك نظم إحداثيات تنطبق عليها قوانين نيوتن فإن جميع الاستنتاجات المنطقية لهذه القوانين تكون أيضاً صالحة للتطبيق. ولا يمكننا مع ذلك أن نعرف عن هذه النظرية الأصولية ما هو الجسم الذي يمكن أن نربط به مثل هذا النظام للإحداثيات (S). وهناك الكثير من المجلدات الكبيرة التي نجد فيها نتائج القوانين النيوتونية وقد استخصلت على هذا النحو دون تحديد لنظام الإسناد الفيزيائي (S).

ولكن ما الذي يدعونا إلى أن نفعل ذلك؟ إن السبب هو أن الفصل بين استخراج النتائج المنطقية وبين التفسير المادي للنظام أمر يسير من الناحية العملية. والوضع شبيه تماماً بما يحدث في الهندسة. فالقوانين النيوتونية تلعب دور البديهيات في الهندسة. وتستنبط النصوص الشرطية في «الديناميكا التحليلية» من قبيل: «إذا كانت قوانين نيوتن صالحة بالنسبة لنظام اسناد (S). فإن الاستنتاجات تكون هي الأخرى صالحة بالنسبة إلى (S). ولكننا لا نستطيع بهذه الطريقة أن نحدد ما هو صالح للتطبيق في محيط الحقائق المرئية. والخطوة الأولى نحو التفسير المادي عندما نعرف مصطلحاً مثل «العجلة» هي تحديد الجسم المادي الذي نسند إليه هذه العجلة.

وتقودنا تجارب حياتنا اليومية إلى الاعتقاد بأن أرضنا هي هذا الجسم (S). ومن الواضح أن هذا الاعتقاد ليس سليماً بوجه عام. فبينما نلاحظ في معظم ما نجريه من التجارب أننا إذا دفعنا جسماً فإنه يتحرك في خط مستقيم بالنسبة إلى الأرض فإننا نرى في بندول فوكولت الشهير أن حركته لا تحاول أن تحتفظ باتجاهها بالنسبة إلى الأرض، فهناك انحراف عن الاتجاه الأصلي بسبب دوران الأرض. اختيار نظام النجوم الثابتة لكي تكون القوانين النيوتونية صالحة بالنسبة له يعتبر تقريباً جيداً للنظام (S) وهذا هو المعنى الكلي للنص القائل بأن الأرض تدور ـ فهي

تدور بالنسبة للنظام (S) الذي تكون فيه قوانين نيوتن صالحة للتطبيق. ونظام النجوم الثابتة لا يـدور بالنسبة لهذا النظام. ويمكننا أن نتساءل عما يمكن أن يحدث إذا كان هناك اختلال في نظام النجوم الثابتة. وعندما نستخدم النجوم الثابتة لنظام (S)، فإننا نؤكد على أن النجوم الثابتة تؤلف نظاماً صلباً؛ ولكن مجموعات من النجوم الثابتة تتدمر في وقت معين. وإذا كانت مجموعات النجوم الثابتة تتلاشى، فأحرى بقطعة الحجر أن تعجز عن معرفة ما هو الخط المستقيم الذي يجب أن تتحرك فيه طبقاً لقانون القصور الذاتي. وعملياً يمكننا أن نقول إن نظام النجوم الثابتة هو النظام (S) الذي تسند إليه قوانين نيوتن، غير أننا إذا اعتقدنا كما كان نيوتن يعتقد أنه واحد من أعم قوانين الطبيعة، فإن هذا النظام لا يمكن أن يسند إلى مجموعة منفردة من الكتل مثل النجوم الثابتة. والشيء السليم الوحيد هو أن تقول إن هناك نظماً (S) وعلى نحو ما قلنا في الهندسة إن هناك أجساماً صلبة تنطبق عليها قوانين الهندسة.

والنظام (S) الذي تنطبق عليه القوانين النيوتونية يسمى «نظاماً قصورياً» (inertial system). وأول تقريب لهذا النظام هو الأرض، والتقريب الثاني هو نظام النجوم الثابتة. وعندما نقول إن القوانين النيوتونية هي قوانين صحيحة تماماً، فإنما نقرر بذلك أننا نصدق بوجود نظام قصوري. وفي نهاية الأمر، نجد أن كل ما ينطوي عليه قبولنا للنظرية النيوتونية هو إيماننا بأن هناك تفسيراً مادياً للقوانين الفيزيائية، إلا أن النظام نفسه هو بناء منطقي بحت. وقد وضع بوانكاري[١٨] هذا الرأي وسماه مذهب التقاليدية (الاصطلاحية). وهو يؤكد على أن قوانين الميكانيكا هي اصطلاحات لغوية. يقول القانون الأول لنيوتن: يتحرك الجسم في خط مستقيم إذا لم تكن تؤثر عليه قوة غير متوازية، ولكن مثل هذه القوة تؤثر على الجسم؟ يمكننا أن نتأكد من ذلك إذا شاهدنا أن الجسم يتحرك في خط مستقيم. وعلى هذا النحو يصبح القانون الأول لنيوتن اصطلاحاً بشأن كيفية استخدام التعبير «القوة غير المتوازنة». والتعبير «الحركة في خط مستقيم». ومثل هذه الاصطلاحات لا تفرضها علينا المشاهدة أو الاستنتاج المنطقي. وهي بهذا المعنى تكون اصطلاحات اختيارية.

وعلى أية حال، لا بد وأن تكون هذه الاصطلاحات الاختبارية مفيدة؛ انها

تستخدم لكي يمكن صياغة الوصف الجيد لظواهر الحركة وحقيقة أن النظام النيوتوني هو نظام شكلي بحت، ولكنه نظام يمكن تطبيقه. والعلوم الحديثة لا تصف الحقائق المشاهدة على نحو مباشر ولكن عن طريق الاستفادة بالنظم الشكلية. وقد سارت العلوم القديمة أيضاً في هذا الطريق بالرغم من أن ذلك لم يكن بنفس القدر من الوضوح.

وإذا حاولنا أن نصف الحقائق المشاهدة وصفاً مباشراً، فيمكننا أن نفعل ذلك باستخدام كلمات وتعبيرات مما نستخدمه في لغتنا اليومية. ومثل هذا الوصف لن يكون له معنى دقيق، ويمكننا تحقيق قدر أعلى من الدقة باشتقاق استنتاجات منطقية مضبوطة. وإذا أردنا أن نشتق استنتاجات منطقية دقيقة وأن نحصل على نتائج دقيقة، يجب علينا أن نستخدم كلمات لا يكون لها معنى مادي، أي نستخدم الرموز كما هو الحال في البنيات الشكلية؛ ويمكننا عندئذ أن نحصل على نتائج دقيقة على نحو ما يحدث في الهندسة الرياضية البحتة (الفصل ٣)؛ غير أن هذه النتائج لا تدل على شيء بشأن الكون المادي ما لم نضف إليها «تعريفات تشغيلية» وعندئذ تكتسب هذه الصيغ معنى في الكون المادي، غير أن معناها سيكون مبهماً. وتجمع خطوات العمل في العلوم الحديثة بين طرق الاستنتاج المنطقي الدقيق وطريقة المشاهدة الحسية وذلك بحصر الاستنتاجات المنطقية في نطاق نظام أصولي (بديهيات ونظريات) وإبراز الهدف من المشاهدات الحسية بتطبيق التعريفات التشغيلية على هذا النظام الأصولي.

كان لودويج ويتنشتاين[١٩] أحد المنطقيين الأوائل الذي وصف علاقة النظم الشكلية بالقوانين المادية وصفاً صائباً. كتب ويتنشتاين عن «الكون» وقوانين نيوتن يقول: «إن امكانية وصفها بالميكانيكا النيوتونية لا تؤكد شيئاً بشأن الكون». وبهذا الأسلوب أراد ويتنشتاين أن يقول إن قوانين نيوتن لا يمكن اعتبارها وصفاً للكون المادي. ويستطرد ويتنشتاين:

> **إلا أن هذا يؤكد أنه يمكن وصفه بهذه الطريقة الخاصة التي وصف بها، كما هو الحال. كما أن إمكانية وصفه بواسطة أحد نظم الميكانيكا على نحو أبسط من وصفه بنظام آخر يدلنا على شيء بشأن الكون.**

ويؤكد ويتنشتاين هنا على أن قوانين نيوتن ليست وصفاً للكون، ولكنها أداة

يمكن أن تصنع هذا الوصف إذا استخدمت استخداماً سلبياً، ومن ثم فإنه لا جدوى من قوانين الميكانيكا ما لم تكن مقترنة بتوجيه لكيفية استخدام هذه الأداة. ويتمثل جزء من هذا التوجيه في التعريفات التشغيلية للعبارات المستخدمة في القوانين. وإذا اعتقدنا بأن كل الموجودات في الكون يمكن أن تستنبط من الميكانيكا، فإن هذه الأداة، إذا أحسن استخدامها، يجب أن تفرز كل النصوص الحقيقية بشأن الكون. وقد كتب ويتنشتاين يقول «الميكانيكا هي محاولة لبناء كل الفروض الحقيقية التي نحتاجها لوصف الكون، وذلك طبقاً لخطة بسيطة».

٦ ـ التعريف التشغيلي «للقوة»

إذا اعتبرنا قانون القصور الذاتي ـ وهو القانون الأساسي للميكانيكا الحديثة ـ بديهية للنظام الشكلي فهذا القانون غاية في البساطة. إنه ينص على أن: الجسم الذي لا تؤثر عليه قوة يتحرك في خط مستقيم بسرعة ثابتة. ومع ذلك، فهذا النص لا يساعدنا إطلاقاً على معرفة متى يصبح الجسم الحقيقي موجوداً في الكون الحقيقي. إنه لا ينبئنا كيف نعرف ما إذا كانت حركة معينة لها هذه الخواص. وإذا حاولنا أن نضع تعريفات تشغيلية للمصطلحات «الحركة في خط مستقيم»، «سرعة ثابتة»، «لا تؤثر عليه قوة»، فإننا نواجه صعوبة. ويمكننا أن نضع مثل هذا التعريف إذا اخترنا جسماً واحداً (S) يكون محدداً وصلباً، ثم نشترط أن: المقصود «بالسرعة المنتظمة في خط مستقيم» إنها منتظمة وفي خط مستقيم بالنسبة إلى (S)»، حيث (S) «نظام قصوري» بالمعنى المفهوم في (القسم ٥). ولا يذكر قانون التصور الذاتي ما هو الجسم المتخذ نظاماً قصورياً؛ فهو يذكر فقط أن هناك مثل هذا النظام. ويقع على الفيزياء والفلك مهمة ايجاد الجسم الذي تدعي الميكانيكا النظرية وجوده.

ويصف القانون الثاني لنيوتن كنه الانحراف عن الحركة في خط مستقيم عندما تكون هناك قوة مؤثرة على الجسم. ويمكن قياس هذا الانحراف بالكمية المتجهة «العجلة» التي نرمز إليها بالحرف (a)، والتي يحددها التغير في السرعة والاتجاه. وإذا رمزنا إلى الكمية المتجهة «القوة» بالرمز (f)، فإن القانون الثاني لنيوتن ينص على أن العجلة تتناسب مع القوة التي تؤثر بها أجسام أخرى على الجسم المتحرك. وتوضح تجارب الحياة اليومية أنه مع تساوي الدفع من الخارج

تتحرك الأجسام «الكبيرة والثقيلة» بعجلة أقل من عجلة تحرك الأجسام «الصغيرة والخفيفة». والتناسب بين القوة والعجلة يجب أن يتضمن معامل قد سمى نيوتن هذا المعامل «كمية المادة» التي يحتوي عليها الجسم. وقد أطلق على هذه الكمية اسم «كتلة» الجسم. ويرى نيوتن أن هذه الكمية لا تتغير إلا إذا أضفنا إليها كمية أخرى أو انتقصنا منها بعضها؛ وهذا يعني من الناحية العملية أن نجزىء الجسم إلى قطع أو أن ندمج أجساماً صغيرة لتؤلف جسماً كبيراً. وقد صاغ نيوتن قانونه الثاني بأبسط فرض ممكن: حاصل ضرب الكتلة في العجلة يساوي القوة. ويمكن التعبير عن ذلك بالمعادلة الرياضية: $m\times a=f$، حيث m هي كتلة الجسم، a هي العجلة التي تسببها القوة f وهي صافي القوة غير المتوازنة المؤثرة على الجسم. وإذا لم نتقيد بالحركات في خطوط مستقيمة، فإن كلاً من العجلة a والقوة f تكون كمية متجهة ذات مقدار معين واتجاه معين. وإذا علمنا صافي القوة المؤثرة على جسم معلوم الكتلة، يمكننا أن نستخدم هذا القانون لحساب عجلة تحرك الجسم، حيث $a=\frac{f}{m}$. وإذا عرفنا العجلة فإنه يمكننا حساب حركة الجسم عند الأزمنة المختلفة (حيث إن العجلة هي المشتقة الثانية لإزاحة الجسم بالنسبة للزمن).

ويقول البعض، كما قال بوانكاري، إن القانون $m\times a=f$ هو اصطلاح بحت، وأن «القوة» هي مجرد اسم لحاصل الضرب $m\times a$. وإذا لم نعط تعريفاً مستقلاً «للقوة» فإن هذا القانون يكون اصطلاحاً بحتاً على وجه التأكيد، ويكون تعريفاً «للقوة». ولكي نعرف ماذا ينبئنا هذا القانون عن عالمنا المادي، علينا أن نختبر كيف نطبقه عملياً. وعلى سبيل المثال، قد يتحرك الجسم في حيز ضيق.

وبفرض أن f كمية ثابتة فإننا نستنتج أن عجلة تحرك الجسم هي أيضاً كمية ثابتة (g) ويمكننا ببرهان رياضي بسيط أن نستنتج أن المسافة (s) الذي يقطعها الجسم في زمن قدره t تعطى بالعلاقة $t=½gt^2$. ومن ثم يمكننا أن نتنبأ أو نحسب المسافة التي يقطعها الجسم في زمن معين. والعلاقة $s=½gt^2$ يمكن تدقيقها وتحقيقها بالتجربة والمشاهدة. وهذه المشاهدة تؤكد أن الفرض البسيط، f = كمية ثابتة تفسر حركة الجسم تحت تأثير الجاذبية في حيز صغير.

وإذا اجتبرنا الحركة في حيز كبير تحت تأثير الجاذبية، مثل حركة الكواكب حول الشمس، يجب أن نفترض أن f غير ثابتة ولكنها تحدد بواسطة قانون نيوتن

للجاذبية. وينص هذا القانون على أن قوة الجذب f التي يؤثر بها جسم على جسم آخر تتناسب مع r1/2، حيث r هي المسافة بين الجسمين. واتجاه الكمية المتجهة f هو اتجاه الخط المستقيم الواصل بين الجسمين. ويمكن من هذا أن نستنبط رياضياً أن أحد الجسمين يسير في مدار اهليجي (قطع ناقص)حول الجسم الآخر. وقد ثبت هذا عن طريق المشاهدة. وعلى هذا فإنه إذا كانت لدينا صيغة بسيطة للقوة f بدلالة المسافة r بين الجسم والأجسام الأخرى (وفي أبسط الحالات تكون f كمية ثابتة)، فإننا يمكن استخدام القانون $m \times a = f$ لتعيين العجلة ومن ثم لتعيين حركة الجسم. وإذا لم تكن لدينا مثل هذه الصيغة البسيطة فإن $m \times a = f$ تضبح خاوية تماماً وتكون f مجرد اسم للكمية $m \times a$. والمضمون الحقيقي للميكانيكا النيوتونية لا يتمثل في الصيغة $m \times a = f$ ولكنه يتمثل في وجود تعبيرات معينة للكمية f ويعوض بهذه التعبيرات في الصيغة لكي تعين عجلة الأجسام كتعبيرات بسيطة بدلالة المسافة بين هذه الأجسام وأجسام أخرى. والعجلة هي بالطبع عجلة بالنسبة لنظام يكون قانون القصور الذاتي صالحاً للتطبيق فيه، أي لما سميناه «بالنظام القصوري». وتعين عجلة جسم بالنسبة لنظام قصوري بواسطة صيغة بسيطة بدلالة المسافة بين الجسم والأجسام الأخرى ـ وهذا هو الاكتشاف الحقيقي الذي انجزه نيوتن.

كان المعتقد في الفيزياء القديمة أن حركة الجسم الأرضي يمكن وصفها بمعرفة المكان الذي تسعى إليه. وبالنسبة للأجسام السماوية كانت الحركة توصف بأنها تتم في دوائر مضبوطة. لم يدرك أحد أن حركة الجسم يمكن وصفها بواسطة عجلتها. وقد وجد كيلر أن المدارات السيارة ليست دائرية ولكنها اهليجية. وقد اعتبرت هذه المدارات الاهليجية أقل كمالاً من المدارات الدائرية، ولكنها قريبة من الكمال. واكتشف فيما بعد أن المدارات السيارة لا تكون اهليجية تماماً إلا إذا كان هناك كوكب واحد حول الشمس، وذلك أن مسار كل كوكب يتأثر بوجود الكواكب الأخرى، ومن ذلك تكون المسارات قطاعات ناقصة غير منتظمة، تمثل منحنيات بالغة التعقيد لا يمكن التعبير عنها بمعادلة بسيطة.وكان نيوتن هو الذي فكر في تقديم وصف مختلف تماماً؛ فقد رأى أن المهم في هذا الموضوع هو العجلة وليس المنحنى. وتحسب العجلة بصيغة **بسيطة**، **هي** أن العجلة تتناسب مع r1/2. أما إذا أردنا أن نصف المنحنى نفسه فسوف يكون ذلك أمراً بالغ التعقيد. فإذا

أردنا أن ننظم وصف الحركة فإننا نصفها بدلالة العجلة، وهي هنا ليست أية عجلة وإنما هي العجلة بالنسبة للنظام القصوري.

يمكننا أن نرى أن تعريف «القوة» ينطوي على عنصر غموض إذا حاولنا أن نصوغه لينطبق على كل حالات الحركة. وفي حالة حركة النظام (الكوكبي) يمكننا أن نقول ببساطة أن عجلة الجسم بالنسبة للنظام القصوري تتناسب مع مجموع حدود يتناسب كل منها تناسباً عكسياً مع مربع المسافة بين الجسمين. ودالة المسافات المعرفة على هذا النحو هي «القوة» المؤثرة على هذا الجسم (B). وإذا لم نقتصر على قوى الجاذبية في النظام الكوكبي وأدخلنا في اعتبارنا أيضاً كل القوى الممكنة، فإنه يمكن أن نصوغ التعميمات التالية: عجلة الجسم (B) بالنسبة لنظام قصوري (S) يمكن التعبير عنها في كل الحالات كدالة بسيطة لأبعاد الجسم (B) وسرعاته بالنسبة لأجسام أخرى، وتسمى هذه الدالة البسيطة «بالقوة» المؤثرة على الجسم (B)، وعلينا أن نحلها محل (f) في الصيغة $m\times a=f$.

ومن المؤكد أن هناك «عنصراً بشرياً» في هذا التعريف للقوة. فالمعيار فيما نسميه «صيغة بسيطة» يعتمد على الوضع السيكلوجي لمجموعة اجتماعية معينة في حقبة تاريخية معينة، غير أنه عند معرفة وضع معين ينشأ في الغالب اتفاق واسع الانتشار على ما إذا كان تعريف معين هو تعريف «بسيط» أم غير ذلك. وإذا لم يستطع المرء أن يجد مثل هذه الصيغة البسيطة، فإن «القوة» لا يمكن تعريفها. ويؤكد قانون القوة لنيوتن على أنه في كل حالة معينة توجد صيغة يمكن أن يعتبرها علماء عصرنا صيغة بسيطة، أو أنه هناك أمل في تطور القدرات الذهنية إلى الحد الذي سوف يمكن العلماء من ايجاد صيغة يعتبرونها «بسيطة». ومن الواضح مما سبق ذكره أن المعنى «الواقعي» لقوانين نيوتن يرتبط إلى حد كبير، كما أشرنا، بالتطور السيكلوجي والاجتماعي للجنس البشري. واعتقادنا ببساطة هذه القوانين إنما ينبثق من اعتبارنا إياها مجرد أجزاء من نظام شكلي تمثل فيه هذه القوانين مجرد تعريفات، مع اغفالنا لمعناها «الواقعي».

٧ ـ التعريف التشغيلي «للكتلة»

في تعريف «القوة» الذي ورد في القسم السابق افترض أن جسماً متحركاً

واحداً (B) هو المأخوذ في الاعتبار. ومن ثم فإن هناك «كتلة» واحدة هي التي تلعب دوراً في الموضوع وليس هناك تأثير للكتلة على الحركة. وإذا بحثنا عن «تعريف تشغيلي» «للكتلة» فإننا يجب أن نقيمه على تجارب تقع فيها أجسام مختلفة الكتل تحت تأثير قوة واحدة لا تتغير.

ونحن نتذكر أن نيوتن قد عرف الكتلة بأنها «كمية المادة» التي يحتوي عليها جسم معين. وإذا لم نستخدم سوى لغة «الفطرة السليمة» وتجاربها، فإننا نعتقد بأننا نجيد فهم معنى النص بأن الحجم المعين من الجسم يحتوي على «كمية معينة من المادة». وهذا المفهوم يبدو واضحاً جداً إذا افترضنا أن «المادة» تتكون من عدد كبير من الجسيمات الصغيرة المتساوية (وقد سميت من قبل «ذرات»). ومن ثم فإن «كمية المادة» الموجودة في حجم معين إنما نعني بها عدد هذه الجسيمات المتساوية. وقد كان مفهوم «الكتلة» على انها عدد «الذرات» مفهوماً مألوفاً لدى الذريين اليونانيين والابيقوريين وقد جاء في قصيدة On the Nature of things للابيقوري الروماني، لوكريتيوس[٢٠] ما يلي:

> لماذا نرى أحد الأشياء يفوق غيره في الوزن رغم أنه ليس أكبر منه حجماً؟ لأنه إذا كان هناك من الجسم في حزمة خشب بقدر ما يوجد في قطعة من الرصاص فإنهما يجب أن يتساويا في الوزن، لأنه من خصائص الجسم أن يتثاقل إلى أسفل بينما نجد أن طبيعة الفراغ هي عكس ذلك فلا وزن له. ومن ثم فإن الشيء عندما يتساوى في حجمه مع شيء آخر ويكون أخف منه فإن ذلك يدل على أنه يحتوي في داخله على فراغ أكثر مما يحتويه الشيء الآخر؛ ومن ناحية أخرى، فإن الشيء الأثقل يدل على أنه يحتوي على قدر أكبر من الجسم وعلى قدر أقل من الفراغ.

ومن الواضح أن تعريف «الكتلة» و«كمية المادة» لا يصف العمليات التي نقيس بها «كمية الحركة» التي يحتويها جسم متحرك معين. فتعريف نيوتن ليس «تعريفاً تشغيلياً» ولكنه يرجع إلى مفاهيم الفطرة السليمة. وقد ثبت من ناحية أخرى أن قوانين نيوتن مفيدة جداً في الميكانيكا التطبيقية. وإذا أردنا أن ندقق قانوناً مادياً بواسطة التجربة فإن كل حد فيه يجب أن يستبدل به تعريف تشغيلي. ولذلك فإن نيوتن وكل من طبق قوانين نيوتن قد استخدموا في الواقع تعريفاً تشغيلياً «للكتلة» يمكننا أن نكتشفه باختبار كيف طبقت قوانين نيوتن في الواقع.

وطبقاً لتعريف «القوة» الذي ورد في القسم السابق، هناك «صيغة بسيطة»

تحدد قيمة معينة (f) للقوة المؤثرة على الجسم (B) وتعتمد هذه القيمة على الظروف الخارجية للجسم (B). ويمكننا أن نكتب القانون الثانى لنيوتن على النحو $a=f/m$. ولذلك فإنه إذا كان لدينا جسمان مختلفان كتلتاهما m_1، m_2، فإن عجلة كل منهما تختلف عن عجلة الآخر تحت نفس الظروف الخارجية والقوة (f) تتخذ نفس المقدار تحت نفس الظروف الخارجية. وبذلـك تكون للجسمين ذوَيْ الكتلتين m_1، m_2 عجلتان مختلفتان a_1، a_2 عندما نؤثر عليهما بنفس «الدفعة». وأياً كانت شدة هذه «الدفعة» أو مقـدار القوة f، فـإنه يمكننـا بسهولـة أن نرى $f=m_1a_1=m_2a_2$. وإذا حسبنا النسبة بين العجلتين نجد أنها لا تتوقف على f. أي أنه بـالنسبة لجسمـين معينين تكون النسبة بين عجلتيهما نسبة ثابتة دائماً. وهي لا تتوقف عـلى الظروف الخارجية f، ولكنها تتوقف على الجسمين نفسيهما $a_1 / a_2=m_2/ m_1$ وتصبح هذه المعادلة تعريفاً فريداً «للكتلة» إذا اخترنا وحدة اختيارية للكتلة (ولنقل مثـلاً، إن السنتيمتر المكعب من الماء كتلته $m=1$). وهذا يعني أن حاصل الضـرب $m=a$ يعتمـد فقط على الـظروف الخارجيـة وليس عـلى الجسم نفسـه. وطبقـاً لما جـاء بـ(القسم ٦)، فـإنه فضـلاً عن ذلك، يمكن التعبـير عنه «كـدالـة بسيـطة» لهـذه الظروف الخارجية. وهذه هي الفكرة الأساسية في الميكانيكا النيوتونية.

وعلى الجانب الرياضي، نجدأن $m\times a=f$ صفة رياضية، هي تعريف للقوة f. ويمكننا أن نستنبط كثيراً من النتائج الرياضية إذا أضفنا الصيغ التي تعبر عن a بالزيادة في السرعة، غير أنه لكي نطبقها على الظواهر المنظورة يجب أن نعطي تعريفات تشغيلية لحدود المعادلة. والمعنى التشغيلي «للكتلة» موجود الآن في النسبة بين العجلتين. وإذا عرفنا m على هذا النحو فإنه يمكن وضع تعريف تشغيلي «للقوة» من المعادلة $f=m\times a$. وهذا تعريف فريد لأنه $m\times a$ تعتمد فقط على الظروف الخارجية للجسم ولا تعتمد على كتلته m، وبهذا المعنى لا تكون الصيغة $m\times a=f$ سوى «تعريف» «للقوة»، ولا تكون قانوناً مادياً يمكن تدقيقه بواسطة التجربة. ومع ذلك، إذا عوضنا عن f بالقانون البسيط الذي ناقشناه في (القسم ٦) فإن العلاقة $m\times a=f$ حيث a تعني العجلة بالنسبة لنظام قصوري، تكون قانوناً بشأن حقائق مادية ولم تعد مجرد تعريف للقوة.

ويمكننا أن نميز وجهين للميكانيكا أحدهما يناظر الهندسة الرياضية والآخر

يناظر الهندسة الفيزيائية (الفصل ١). ففي قانون نيوتن $m \times a = f$ يمكننا للرمز a أن يعني العجلة بالنسبة لنظام اختباري (S). فإذا كانت المواضع والسرعات معلومة بالنسبة إلى (S). فإنه يمكننا بقوانين نيوتن أن نحسب الحركة بالنسبة لنفس النظام (S). وعلى سبيل المثال، إذا لم تكن هناك قوة ($f=0$)، فإنه يمكن أن نستنتج أن الكتلة m تتحرك بالنسبة إلى (S) في خط مستقيم وبسرعة ثابتة. وهذا النص نص شرطي على نفس النحو الذي تكون فيه نظريات الهندسة نظريات شرطية. إنه يعني: إذا كان قانون نيوتن $m \times a = f$ صالحاً للتطبيق بالنسبة إلى (S) وإذا كانت $f=0$، فإنه ينتج أن الحركة بالنسبة إلى (S) تكون حركة مستقيمة. ويكون هذا النص نصاً صحيحاً مهما حدث في العالم: إنه نص منطقي بحت. بل إنه إذا لم يكن هناك نظام (S) تنطبق عليه قوانين نيوتن، وإذا لم تكن هناك حالة تختفي فيها القوة f، فإن هذا النص يكون صحيحاً.

ويتناول الوجه الآخر «نظماً قصورية» مادية معينة (S)، وظروفاً معينة تختفي فيها القوة. ووصف هذه الظروف بدلالة الحقائق المادية يضفي معنى تشغيلياً على قوانين نيوتن. ويمكننا عندئذ أن نتحقق بواسطة المشاهدات الواقعية لنرى ما إذا كانت الاستنتاجات المستخلصة من قوانين نيوتن ومعناها التشغيلي متفقة مع التجربة أم لا. ويمكننا بالقياسات المادية أن نتحقق مما إذا كانت الحركة بالنسبة لنظام مادي محدد هي حركة خطية منتظمة أم لا. فقوانين نيوتن يمكن تطبيقها على العالم المادي إذا وجد في هذا العالم نظام مادي قصوري (S). وإذا قلنا «إن قوانين نيوتن قوانين صحيحة» فإن ذلك يعني أنه يمكن تطبيقها على نفس النحو عندما نقول «إن قوانين الهندسة قوانين صحيحة» وكنا نعني بذلك أنها يمكن تطبيقها على العالم المادي.

ويرتكز نظام الميكانيكا النيوتونية كله على حقيقة عملية هي أنه عندما تؤثر نفس القوة على جسمين مختلفين فإن النسبة بين عجلتي الجسمين لا تتوقف على الظروف الخارجية لهذين الجسمين؛ وعلى وجه الخصوص، فإن هذه النسبة لا تتوقف على سرعة هذين الجسمين. ولذلك فنحن إذا عرفنا «كتلة» جسم بواسطة النسبة a_2 / a_1 فإن هذا يؤكد أن هذه الكتلة كمية ثابتة. ويبدو من تعريف نيوتن أنه مما لا يحتاج إلى برهان أن «كتلة» جسم ما ثابتة ولا يمكن أن تعتمد على سرعة

هذا الجسم. وفي الواقع أن مثل هذه «الكتلة الثابتة» لا يمكن استخدامها في الميكانيكا إلا إذا ظهر عملياً أن النسبة a_2/a_1 لا تتوقف على سرعة الجسمين المعنيين. وفي الواقع أن الأجسام التي نستخدمها في تجاربنا أجسام تتحرك بسرعات صغيرة، ونعني بذلك أنها صغيرة إذا قورنت بسرعة الضوء. وتدل هذه التجربة العادية على أن النسبة a_2/a_1 لا تتوقف حقاً على سرعتي الجسمين.

وقد افترض الفيزيائيون، فيما قبل القرن العشرين، أن النسبة a_1/a_2 نسبة ثابتة، أياً كانت قيمة السرعة. ويصح ذلك فقط إذا افترضنا «أن ما يصح للسرعات الصغيرة، يصح أيضاً للسرعات الكبيرة». كانت الثقة في ميكانيكا نيوتن في القرن التاسع عشر ثقة كبيرة بحيث لم يكن هناك من يشك في أن ثبات «الكتلة» كان قانوناً عاماً من قوانين الطبيعة. لم يكن الإنسان يدري أن هذه الثقة قد بنيت إما على تعريف «الكتلة»، بأنها مقدار المادة، أو على ما أظهرته التجربة من أن النسبة a_1/a_2 للعجلتين الناشئتين عن نفس القوة لا تتوقف على سرعتي الجسمين، وذلك بالنسبة للسرعات الصغيرة. وقد نشر الفيزيائي والفيلسوف النمساوي ارنست ماسن[٢١] عام ١٨٣٧ كتابه Mechanics and its Evolution الذي أصبح من العلامات المميزة في فهمنا لقوانين الحركة. قدم ماسن تحليلاً دقيقاً لميكانيكا نيوتن ولفت أنظار العلماء إلى أنه إذا استخدمنا التعريف التشغيلي $m_2/m_1=a_1/a_2$ فإن «ثبات الكتلة» يكون حقيقة تجريبية وليس «حقيقة فلسفية» يمكن استنباطها من «المبادىء الجلية». كان من الممكن أن تثبت التجربة أن الكتلة تتغير بتأثير الظروف الخارجية. وفي الواقع أن ج.ج. طومسون[٢٢] في أواخر القرن التاسع عشر استنبط من نظرية ماكسويل للمجال الكهرومغنطيس أن النقاط المادية تتصرف مثل الجسيمات ذات الشحنات الكهربائية.

وفي القرن العشرين درست حركة الجسيمات المشحونة التي تتحرك بسرعة كبيرة دراسة منظمة بواسطة أجهزة مثل السيكلوترون. وقد لوحظ أنه عند وجود قوى الكترستاتيكية تعمل في نفس اتجاه السرعة الواقعة للجسيم فإن الجسيم المتحرك بسرعة عالية (أي بسرعة قريبة من سرعة الضوء) يكتسب عجلة أقل من العجلة التي يكتسبها جسيم آخر يتحرك بسرعة صغيرة. وهذا يعني أننا لا يمكننا أن نعرف كتلة الجسم m بالمقدار f/a على أن تكون هذه الكتلة مقداراً ثابتاً إياً

كانت سرعة الجسم. فالمعادلة $m \times a = f$ حيث m مقدار ثابت، ليس لها تفسير مادي يمكن أن يصف الحركة الحقيقية للجسيمات التي تتحرك بسرعة عالية. وفي (الفصل ٥) (عن النسبية) سوف نناقش في مزيد من الدقة والعناية تلك البدائل في «البديهيات» أو «النظام الشكلي» المطبق على حركة مثل تلك الجسيمات.

أما في الفصل الحالي، فإن هذه البدائل تقدم لنا مثالاً يساعدنا كثيراً في توضيح البنية المنطقية للعلم بوجه عام. فقد كان من الممكن أن نعتبر أن قوانين نيوتن ذات «صلاحية عامة» لو لم تتم تلك المشاهدات على الجسيمات التي تتحرك بسرعات عالية. وقد كان من شأن ذلك أن يعني أن قوانين نيوتن «كنظام شكلي» ($m \times a = f$ حيث m مقدار ثابت) يمكن تطبيقها على كل الحركات التي وقعت والتي يمكن أن تقع في الكون. وقد كان هذا الاعتقاد في «صلاحيتها العامة» هو المسؤول عن وجود نصوص مثل النص القائل بأن هذه القوانين هي «قوانين حقيقية للحركة في الكون بأجمعه». ونحن نعرف الآن أن هذا «النظام الشكلي» هو وصف مناسب للحركة بالنسبة فقط للجسيمات المتحركة بسرعة منخفضة؛ بل إنه مع ذلك، ليس هناك اعتراض على بناء «النظام الشكلي» لنيوتن ضمن نظرية محكمة للحركة. وبهذه الطريقة نحصل على نظام «للديناميكا التحليلية» يحتوي على نصوص مثل النص التالي: إذا عرفنا الحالة الابتدائية لحركة الكتل بالنسبة لنظام قصوري (S) وإذا كانت قوانين نيوتن صالحة بالنسبة لكل السرعات بالنسبة إلى (S)، فإنه يمكننا أن نحسب حالة الحركة بالنسبة إلى (S) عند أي زمن (t)، وذلك باستخدام «النظام الشكلي» المبني على قوانين نيوتن. ويبقى هذا النص الشرطي صالحاً حتى بعد أن عرفنا أن قوانين نيوتن لا يمكن تطبيقها على الجسيمات السريعة الحركة. وإذا فحصنا مسألة التفسير المادي فإننا نجد أن نصنا الشرطي يمكن أن يكون له تفسير مادي صالح إذا افترضنا أن سرعة الجسيمات صغيرة إذا قورنت بسرعة الضوء. ويمكننا تطبيق قانون نيوتن إذا كانت هذه هي الحال في كل الحركات: لكنه حتى في حالة أعلى سرعة فإن «النص الشرطي يبقى صالحاً» لأنه نص منطقي أو رياضي بحت.

٨ ـ بقايا من الفيزياء العضوانية في الميكانيكا النيوتونية

كان الكون في فيزياء أرسطو عبارة عن بيت كبير للسكن، وأقيم طبقاً لرسم

تخطيطي أحكم ليلائم حياة الإنسان وموته. أما قوانين الحركة فقد كانت قواعد تتحرك طبقاً لها الأجسام والأرواح من حجرة إلى أخرى داخل هذا البناء الضخم. وقد اعتبر الإنسان الحي ثقيلاً، وإذا انفصلت عنه الروح فإن «الحركة الطبيعية» لجسمه تسقط به نحو مركز الأرض، ولكن روحه تتحرك إلى أعلى نحو الكرات السماوية كما وصفها دانتي في فردوسه[٢٣] وعندما يذكر أرسطو «مكان الجسم» فإنه كان دائماً يعني به وعاء يحتوي هذا الجسم. وقد كتب أرسطو في مؤلفه «Physics» يقول: «كما أن الوعاء مكان متنقل، فإن المكان وعاء غير قابل للانتقال». وفي نظريات كوبيرنيكوس، ونظريات جاليليو، نجد أن بيت السكن قد فقد بساطته الرائعة: لقد تسرب نوع معين من عدم الارتياح إلى عقول كل المتعمقين في الاشتغال بعلم الفلك. ويمكننا أن نقتبس على سبيل المثال من أقوال فرانسيس باكون، وهو لم يكن على الاطلاق أرسطوياً سوياً، بل على العكس من ذلك كان شديد المعارضة للمذهب الأرسطوي. كتب باكون في عام ١٦٠٥[٢٤] يقول: «إن علم الفلك بوضعه الحالي يفقد هيبته عندما يدرج ضمن العلوم الرياضية، إذ ان من الانصاف أن نعتبره أنبل جزء من أجزاء الفيزياء».

أما الفيزياء العضوانية التي كانت ترضي العقل البشري فقد كانت لطمة أقسى كثيراً عندما قدم نيوتن قانوناً لحركة الجسم في الفراغ. وذلك كأحد القوانين الأساسية للحركة، ونعني به قانون القصور الذاتي. ويصف هذا القانون كيف يتحرك الجسم في الفراغ، غير أن أرسطو[٢٥] كتب يقول:

> **لا يمكن لأي جسم أن يتحرك إذا كان هناك فراغ... فالأجسام الموجودة في الفراغ يجب أن تكون ساكنة، إذ لا يوجد في هذه الحالة مكان تتحرك الأشياء نحوه دون مكان آخر، حيث لا يسمح الفراغ بوجود مكان يختلف عن الآخر... فكل تحرك إما أن يكون إجبارياً، أو يكون طبقاً للطبيعة... لكن كيف يكون هناك تحرك طبيعي إذا لم يكن هناك اختلاف خلال الفراغ أو اللانهاية؟ إما أنه ما من شيء ذي تحرك طبيعي، وإما أنه ليس هناك فراغ.**

ويدلل أرسطو بطريقة مماثلة على أنه أيضاً لا يمكن أن توجد حركة إجبارية في الفراغ، ثم يستطرد:

> **ثم إن أحداً لا يستطيع أن يذكر لماذا يتوقف الجسم عند موضع ما بعد أن يكون**

قد تحرك؛ إذ لماذا يتوقف الجسم عند موضع دون غيره؟ ومن ثم لا بد للجسم إمّا أن يكون ساكناً وإما أن يتحرك إلى ما لا نهاية ما لم يعترضه شيء أقوى منه.

وقد يستنتج عالم من القرن التاسع عشر، أو القرن العشرين من هذه السطور أن أرسطو كان وشيكاً من قانون القصور الذاتي، إلا أن ذلك سوف يعني أنه سوف يفسر أرسطو بعقلية شكلتها دراسة الفيزياء الحديثة. وقد وجد الإنسان اليوناني القديم أن فكرة إمكانية تحرك الجسم بسرعته المنتظمة إلى ما لا نهاية هي فكرة منافية للعقل إلى الحد الذي جعله يستنتج أنه «من الواضح من هذه الاعتبارات أنه ليس هناك فراغ منفصل».

أما نيوتن في كتابه «Principles of Nature Philosophy» فقد أتى عكس المفهوم الأرسطوي، إذ رأى أن الفراغ هو المفهوم الأساسي. فالجسم المتحرك يحتفظ بسرعته بالنسبة «للفراغ». وقد اهتم نيوتن بإبراز أن هذا القانون لا يعود إلى أي جسم مادي للاسناد، ولكنه يستند إلى «الفضاء المطلق» وهو نفس الشيء الذي كان أرسطو يسميه «بالفراغ المنفصل». لقد عرفنا في (القسمين ٦، ٧) أن قوانين نيوتن لا يكون لها معنى تشغيلي إلا إذا حددنا نظام الاسناد أي النظام القصوري. وقد عرفنا أنه من الناحية العملية، يمكننا على نحو تقريبي جيد أن نعرف النظام القصوري بأنه نظام النجوم الثابتة. وبتعبير نيوتن سوف يعني ذلك: أننا يجب أن نضيف إلى قوانينه نصاً يفيد بأن النجوم الثابتة هي في حالة سكون بالنسبة إلى الفضاء المطلق. وسوف يكون ذلك أمراً مثالياً بالنسبة إلى نيوتن. ومهما فعلت النجوم الثابتة فإن أي جسم مادي سوف يحتفظ بسرعته بالنسبة للفضاء المطلق. وسوف نرى أنه من المستحيل من خلال تجربة مادية أن نعين سرعة الأرض (أو أي جسم مادي) بالنسبة للفضاء المطلق؛ ومن ثم فإن هذه السرعة ليس لها معنى تشغيلي.

وقد أدرك نيوتن هذه الصعوبة إدراكاً جيداً. فلكي يعطي «للفضاء المطلق» معنى تشغيلياً كان عليه أن يحتفظ ببعض عناصر الفيزياء العضوانية. وكما افترض في الفيزياء الأرسطوية، أن بكل كرة تتحرك في السماء كائناً إلهياً، فإن نيوتن افترض أن الفضاء المطلق هو مثيل «بمركز الإحساس الإلهي». وقد فسر النص بطرق متباينة، ولكننا نفهمه بوضوح من يوميات دافيد جريجوري[٢٦]. وقد كان

تلميذاً وصديقاً مقربا إلى نيوتن. وقد سجل دافيد جريجوري عام ١٧٠٥ حديثاً أجري حول ما يشغل الفضاء الخالي من الأجسام:

وفي الواقع أنه كان يؤمن بأن الله موجود في كل مكان، وذلك بالمعنى الحرفي، وأنه كما أننا نحس بالأشياء عندما تنتقل صورها إلى المخ، فكذلك يحس الله بكل شيء إذ انه موجود في كل شيء. ذلك أنه يفترض أنه كما أن الله موجود في الفضاء الذي لا يحتوي على أي جسم، فإنه موجود في الفضاء المحتوي على الجسم أيضاً.

«لا يمكننا أن نفهم البنية المنطقية لفيزياء نيوتن إذا تجاهلنا أنه قد استخدم في قانونه عن القصور الذاتي عنصراً عضوانياً» أو ما يمكن أن نسميه في هذه الحالة عنصراً «لاهوتياً». وعندما بذلت محاولة لتطهير الفيزياء من كل العناصر اللاهوتية في أواخر القرن الثامن عشر وأوائل القرن التاسع عشر أصبحت فيزياء نيوتن غير منطقية. أصبح «الفضاء المطلق» مجرد كلمة ليس لها أي معنى تشغيلي.

وكان هناك، فضلاً عن ذلك، عنصر لاهوتي آخر في فيزياء نيوتن كان مألوفاً لدى العلماء والفيزيائيين أكثر من وجود الله في كل زمان ومكان كأساس «للقصور الذاتي». فعندما طبق نيوتن نظريته على تحركات النظام الفلكي استطاع أن يستنبط من قوانينه أن الكواكب تدور حول الشمس في مدارات اهليجية تقع الشمس عند إحدى بؤرتيها. ومع ذلك، فقد كانت هناك انتظامات في حركة الكواكب لا يمكن استنباطها من قوانين نيوتن: فالمدارات التي تتحرك فيها الكواكب والمذنبات تكاد جميعها أن تقع في مستوى واحد، كما أنها جميعاً تدور في نفس الاتجاه. وتضع قوانين نيوتن في حسابها اختيار مواضع وسرعات ابتدائية لجميع الكتل، ومن ثم فإنها تسمح بوجود كثير من الشذوذ الذي لم يظهر في واقع الأمر. وقد فسر نيوتن هذا الشذوذ باستخدام تبريرات مأخوذة عن الفيزياء العضوانية. كتب نيوتن يقول(٢٧):

إلا أنه يجب ألا نفهم أن مجرد الأسباب الميكانيكية يمكن أن تنشأ عنها كل هذه الحركات المنتظمة إذ ان المذنبات تنتشر في كل أرجاء السماء في مدارات منحرفة كثيراً عن المركز. ولا يمكن لهذا النظام الشمسي الجميل، بكواكبه ومذنباته، أن يوجد إلا بتدبير وسلطان من لدن كائن ذكي وقادر.

كان من الواضح تماماً لنيوتن أن «تفسيره» للانتظامات ينطوي في الواقع على

إبراز التماثل الوثيق بين الانتظام في النظام الفلكي والانتظام الناشىء عن التخطيط الرصين في العلاقات البشرية. ويستطرد نيوتن قائلاً «إن كل خواطرنا عن الله مأخوذة عن أساليب الجنس البشري بتماثل معين، وهو تماثل غير كامل بالرغم من أنه ينطوي على بعض أوجه التشابه». ويتضح من هذه العبارات أن نيوتن يفسر الحركات الفلكية بتماثلها مع سلوك الكائنات البشرية شأنه في ذلك شأن الفيزياء الأرسطوية.

وعندما أصبح المناخ الفكري العام في أواخر القرن الثامن عشر وبداية القرن التاسع عشر مناخاً معارضاً لكل الدعاوى القائمة على «العلم العضواني»، بدأت المحاولات لتخليص فيزياء نيوتن من كل بقايا التفكير العضواني. ومن المعروف جيداً أننا نستطيع أن نستخدم قوانين نيوتن لحساب الحركات المستقبلية لنظام ميكانيكي عند لحظة معينة إذا علمنا «الحالة الابتدائية» لكل كتل هذا النظام، أي مواضع هذه الكتلة وسرعاتها. ولكي يمكن حساب الحركات المستقبلية يجب إضافة هذه البيانات إلى قوانين نيوتن. وكما ذكرنا، فإن نيوتن نفسه قد افترض أن هذه الظروف الابتدائية قد حددها ذكاء فوق بشري، يشبه الذكاء البشري على نحو ما؛ وإذا استبعدنا هذا الذكاء فإن فيزياء نيوتن سوف تتخلل نسيجها ثغرة. ولذلك علينا أن نقول إن «الظروف الابتدائية» غير محددة، ويجب أن نخترع أو نناقش مبدأ يمكن أن نستنبط منه هذه الظروف. وفي نهاية القرن الثامن عشر وضع كانت ولا بلانس نظرية تقضي بأن النظام الكوكبي كان في الأصل كرة من الغاز. أما الانتظام الذي شبهه نيوتن بالتخطيط البشري فإنه يرجع إلى الدوران الذي كانت تشترك فيه جميع أجزاء النظام الفلكي. وهذا يعني أن الظروف الابتدائية لكتل النظام الكوكبي كانت لها كمية حركة زاوية ذات قيمة معينة تحددها كمية متجهة معينة، وذلك قبل تكوين النظام الكوكبي بزمن طويل. ويمكننا بالطبع أن نسأل أيضاً كيف بدأت هذه الحركة الدورانية الابتدائية. ويمكننا أن نستخدم مرة ثانية عنصراً عضوانياً، أو يمكننا أن نفترض ظروفاً ابتدائية أخرى يمكن أن ينشأ منها الدوران الابتدائي طبقاً لقوانين نيوتن. وقد كانت هناك محاولات كثيرة من هذا النوع، غير أنه في أية حال لا بد أن يضع فرضاً اختيارياً بشأن الظروف الابتدائية عند لحظة اختيارية معينة. ويمكننا أن نضع «الفرض الأدنى» بأن الظروف الابتدائية تمثل حركة عشوائية للذرات. كما فعل لوكريتوس

الابقراطي[٢٨] في كتابه «عن طبيعة الأشياء» (On the Nature of things) غير أن فرض الحركة العشوائية هو أيضا فرض اختياري، كما أن نشأة كمية الحركة الزاوية من الحركة العشوائية تتطلب حسابات دقيقة وقابلة للمناقشة.

وسوف نتصدى الآن لمشكلة استبعاد البقايا اللاهوتية من الظروف الابتدائية. وهذه النظريات بشأن «الظروف الابتدائية»، أو بالتعبير الدارج، بشأن «أصل الكون»، وقد شدت الانتباه بسبب أهميتها «الفلسفية». وما أمكن استنباطه منها واختباره بالتجربة كان قليلاً. ومن ناحية أخرى، ثبت أن محاولات استبعاد العناصر العضوانية واللاهوتية من قانون القصور الذاتي كانت لها نتائج كبيرة من مجال «العلم بمعناه المحدد». لقد كانت هذه المحاولات عاملاً منشطاً للبحث عن قوانين فيزياء جديدة.

عرفنا من (القسمين ٦، ٧) أن قوانين نيوتن ليس لها معنى تشغيلي إلا إذا وصف النظام القصوري بعمليات مادية وقد عرفنا أن نيوتن قد وصف هذا النظام بأنه «مركز الإحساس الإلهي» وأن التطبيقات الواقعية للميكانيكا كانت مبنية على «حقيقة عارضة» مؤداها أن نظام النجوم الثابتة كان طبقاً لنيوتن في حالة سكون في «الفضاء المطلق» ومع ذلك، فإننا إذا درسنا الفرضين: أن قانون القصور الذاتي قانون صالح بالنسبة للفضاء المطلق، وأن النجوم الثابتة هي في حالة سكون بالنسبة للفضاء المطلق، فإنه يمكن أن نخلص بنتيجة بسيطة هي أن قانون القصور الذاتي صالح بالنسبة للنجوم الثابتة. وبهذه الطريقة يستبعد اصطلاح «الفضاء المطلق» من قوانين الحركة، ونستبعد معه كل البقايا العضوانية. ويكون «القصور الذاتي»، بالتعبير الدارج، هو ميل قطعة الحجر منذ قذفها إلى الاحتفاظ بسرعتها واتجاهها بالنسبة للنجوم الثابتة. ويكون «القصور الذاتي» عندئذ تفاعلاً بين الأجسام المادية، مثله في ذلك مثل الجاذبية. وفي أواخر القرن التاسع عشر أكد أرنست ماسن على هذه النقطة في مقال قصير عام ١٨٧٢، ثم بإفاضة في كتابه الذي أشرنا إليه سابقاً. فقد ورد في كتابه «Mechanics and its Evolution»[٢٩] عام ١٨٨٣:

> **إن سلوك الأجسام الأرضية بالنسبة للأرض يمكن رده إلى سلوكها بالنسبة إلى الأجسام السماوية النائية جداً (النجوم الثابتة). وإذا ادعينا أننا نعرف عن**

الأجسام المتحركة أكثر من سلوكها الافتراضي بالنسبة للأجسام السماوية، وهو السلوك الذي ترجحه التجربة، فإننا لا نكون أمناء. وعلى ذلك، فإننا عندما نقول إن الجسم يحتفظ بسرعته واتجاهه في الفضاء، فليس ذلك سوى نصيحة مبتسرة للنظر في الكون كله... ويمكن لصاحب المبدأ (نيوتن) أن يسمح لنفسه بالتعبير الموجز [الفضاء] لأنه يعلم أنه لن تكون هناك صعوبات في تطبيق القانون. إلا أنه لن يستطيع أن يفعل شيئاً إذا نشأت صعوبات حقيقية، وعلى سبيل المثال أنه ليست هناك أجسام تكون في حالة سكون بالنسبة لبعضها البعض.

وفي هذه الحالة يكون استبعاد العناصر العضوانية قد أدى إلى اكتشاف قوانين جديدة للتفاعل بين الأجسام المادية. وتشكل هذه القوانين الجديدة لب نظرية التثاقل لأينشتاين. وسوف نناقش هذه القوانين بمزيد من العناية في (الفصلين ٥، ٦) الخاصين بالنسبية.

٩ ـ حواشي الفصل [٤]

١ ـ هربرت بترفيلد، «The Origins of Modern Science»، ١٣٠٠ـ ١٨٠٠ (لندن: جورج صن وأولاده، ١٩٥٠).

٢ ـ انظر الفصل ١، حاشية ٢٣.

٣ ـ دانتي اليجييري (١٢٦٥ ـ ١٣٢١) أعظم الشعراء الايطاليين. يصف في أعظم أعماله «الكوميديا الإلهية» طوافة خلال الجحيم والاعراف والجنة. وبينما يقوده الشاعر فيرجيل في العالمين السفليين يلتقي عند حدود الجنة بالفتاة باتريشيا التي كان قد التقى بها وهما في سن التاسعة، وقد ظل يحبها في دنيا الخيال؛ وهو يصف هذا الحب في قصيدته «حياة جديدة». كان دانتي شديد الاهتمام بالفلسفة السكولاستية، وقد درس «Summa Theologica» لسان توماس أكويناس.

٤ ـ «أرسطو»، لورنر جيجر، ترجمة رتشاردر وبنصون (أوكسفورد: مطبوعات كلاريندون، ١٩٥٠).

٥ ـ «Summa Contra Gentiles» لسان توماس أكويناس. ترجمة انتوني بيجيس (جاردن سيتي: Image Books، ١٩٥٥) المجلد ١، فصل ١٣.

٦ ـ موسى ميمونيدس (١١٣٥ ـ ١٢٠٤) فيلسوف اسكولاستي يهودي. كتابه الرئيسي هو «The Guide of the Perplexed» (١١٩٤)، الذي ترجمه ليون روث (لندن: Hutchinson's Home Universety Library، ١٩٤٨).

٧ ـ «On the Movements of Animals» لأرسطو، من «The Works of Aristotle» ترجمة د. د. روس (لندن: مطبوعات جامعة أوكسفورد ١٩٠٨ـ ١٩٥٢)، المجلد ٥. لكي نفهم النظرية العضوانية للحركة فهماً جيداً، من المفيد جداً أن ندرس هذا الكتاب الصغير بالذات، لأنه يبدأ من حركات الكائنات الحية لكي يتيسر فهم حركة الأجرام السماوية.

٨ ـ «Physics» لأرسطو، نفس المرجع، المجلد ٢، الكتاب ٨.

٩ ـ انظر الفصل ٢، الحاشية ٣٩.

١٠ ـ دافيد هيوم (١٧١١ ـ ١٧٧٦) فيلسوف بريطاني ومؤرخ واقتصادي سياسي. والعبارات الواردة عن «الاختيار» و«التسبب» مقتبسة من مؤلفه An Inquiry Concerning Human Understanding (شيكاغو: Open Court Publishing Co.، ١٩٤٩). وقد نشر هذا الكتاب أصلاً تحت عنوان Philosophical Essays.

١١ ـ «Positive Philosophy» لأوجست كومت، ترجمة هارييت مارتينو (لندن: جورج بل وأولاده، ١٨٩٦)، الكتاب مع (chemistre) الفصل ١.

١٢ ـ نيلز بوهر (١٨٨٥ ـ   ) فيزيائي هولندي، وقد نوقش عمل بوهر مناقشة ممحصة في الفصول ٨،

٩، ١٠.

١٣ ـ نيكولاس كوبيرنيكوس (١٤٧٣ ـ ١٥٤٣). أتم كتابه الرئيسي «Revolutions in the Celestial Bodies» حوالي عام ١٥٣٠ ولكن الكتاب لم ينشر إلا بعد موته. وقد استفاد من الجدل العضواني مثل:

- إن من الأمور المشرفة أن أكثر الأجسام سطوعاً، أي الشمس، هي مركز الكون، تماماً مثل وضع أكبر مصباح في مركز الحجرة.

١٤ ـ جاليليو (١٥٦٤ ـ ١٦٤٢) في كتابه «Dialogues Concerning Two New Sciences» صيغ قانون القصور الذاتي في مقدمة الحوار الرابع على النحو التالي: تخيل أي جسيم يطلق فوق سطح أفقي دون احتكاك. نعرف أن هذا الجسيم سوف يتحرك فوق نفس هذا السطح بسرعة منتظمة ودائمة بشرط ألا تكون لهذا المستوى حدود.

١٥ ـ في كتاب نيوتن «Mathematical Principles of Natural Philosophy» (١٨٦٧) صيغ قانون القصور الذاتي على أنه القانون الأول للحركة. يستمر كل جسم على حالته من سكون أو حركة منتظمة في خط مستقيم ما لم تؤثر عليه قوة فترغمه على تغيير حركته.

١٦ ـ جوردانو برونو (١٥٤٨ ـ ١٦٠٠) فيلسوف فرنسي. وقد رفض علم الفلك الأرسطوي ليقبل الكوبيرنيكي الذي يتيح إمكان وجود عوالم لا حصر لها. وقد كان يميل إلى مذهب «وحدة الوجود» (الله والطبيعة شيء واحد). وقد شد إلى خازوق وأعدم حرقاً عام ١٦٠٠.

١٧ ـ إضافة إلى القانون الأول (المذكور في الحاشية ١٥)، صاغ نيوتن القانون الثاني: يتناسب معدل التغير في الزخم مع القوة المؤثرة على الجسم.

١٨ ـ انظر الفصل ٣، الحاشية ٢٧.

١٩ ـ لودفيج ويتجنشتاين (١٨٩٩ ـ ١٩٥٠) فيلسوف نمساوي. وقضى جانباً كبيراً من حياته في انجلترا، وكان في الفترة من ١٩٣٩ حتى ١٩٤٧ أستاذاً للفلسفة بجامعة كمبريدج. وقد نشر كتابه «Tractatus Logico Philosophicus» (١٩٢١) في طبعة باللغتين الألمانية والانجليزية (نيويورك: هاركورت وبريس وشركاؤهما، ١٩٣٣). وقد كان لهذا الكتاب تأثير كبير على «Vienna Circle».

٢٠ ـ لوكريتوس (٩٨ ـ ٥٥ ق. م.) شاعر وفيلسوف روماني. وتمثل ملحمته التعليمية العظيمة «On the Nature of Things» فلسفة أبيقور في أشعار غاية في الجمال، ترجمها و. هـ. د. روس (كمبريدج: مطبوعات جامعة هارفارد، ١٩٤١).

٢١ ـ «Mechanics and Its Evolution» لأرنست ماسن، والذي اتخذ في ترجمته الانجليزية عنوان «The Science of Mechanics» (شيكاغو: Open Court Publishing Co. ١٨٩٨) وقد جاء نقده لمبادىء نيوتن في الفصل ٢، قسم ٦، ٧. وقد ظهرت أول طبعة ألمانية عام ١٨٨٣.

٢٢ ـ سير جوزيف جون طومسون (١٨٥٦ ـ ١٩٤٠) فيزيائي بريطاني. نشر عام ١٨٩٣ كتاب «Recent Re-

«searches in Electricity and Magnetism، واستنبط في هـذا الكتاب كتلة الجسيمات المشحـونـة كهربائياً.

٢٣ ـ انظر الحاشية ٣.

٢٤ ـ «Advancement of Learning» (١٦٠٥) للسير فرنسيس باكون (لندن: مكميليان وشركاؤه، ١٩١٧).

٢٥ ـ «Physics» لأرسطو، نفس المصدر.

٢٦ ـ دافيد جريجوري (١٦٦١ ـ ١٧٠٨). «David Gregory, Isaac Newton and Their Circle»، مقتطفات من كتيب د. جريجوري. (لندن: مطبوعات جامعة أوكسفورد، ١٩٣٧).

٢٧ ـ «Mathematical Principles of Natural Philosophy» لاسحق نيوتن.

٢٨ ـ لوكريتوس، نفس المرجع.

٢٩ ـ أرنست ماشن، نفس المرجع.

[٥]
الحركة، والضوء، والنسبية

١ ـ أرسطو، سان اوجستين، أينشتاين

أدخل نيوتن صعوبة لم تكن قائمة في علوم العصور القديمة والوسطى وذلك عندما اعتبر الفضاء المطلق اللانهائي مفهوماً أساسياً من مفاهيم الفيزياء. كان لفيزياء أرسطو نظام اسناد طبيعي ـ فالأرض كانت المركز ومن حولها الكرات. وكان لهذا النظام ساعة طبيعية أيضاً، وهي دوران هذه الكرات. وعندما كان أرسطو يتحدث عن مكان الجسم، فإنه كان يعني دائماً ما نسميه اليوم «المكان النسبي» داخل مجال الأجسام الأخرى. كتب أرسطو يقول:

> إن وجود المكان أمر واضح من خلال الإحلال الطبيعي.... فما يحتوي الآن على الهواء كان قبل ذلك يحتوي على الماء بحيث يتضح أن المكان أو الحيز الذي انتقل منه أو انتقل إليه الماء والهواء كان شيئاً مختلفاً عن كل منهما... وفضلاً عن ذلك، فإن التنقلات النموذجية للأجسام الأولية الطبيعية ـ أي النار والتراب وما إليها ـ لا تبين فقط أن المكان هو شيء ما بل تبين أيضاً أن له تأثيراً معيناً فكل شيء يتجه إلى مكانه الخاص، فهذا يعلو وذاك يهبط، ما لم يوجد ما يعوق الحركة. ويكاد المكان أن يكون ما هو غير متحرك... ومن ثم تستنتج أن المكان هو الحدود الداخلية غير المتحركة للشيء المحتوى[1].

تمزق هذا النظام الكامل والجيد الترتيب «للمكان» عندما قدم نيوتن مفهومه عن الفضاء الذي لا توجد به أماكن أو حدود، أو حاويات غير متحركة. ومن المهم أن نعتبر أن الرأي العالمي العبري ـ المسيحي قد قال بوجود فضاء مطلق مفرغ في أحد الأوقات: «هو حالة الكون» ما قبل الخلق. ونحن نلاحظ أن سان أوجستين قد وجد صعوبة في مواءمة النظرية الجديدة مع خلفيته الفلسفية، وكان سان أوجستين قد نشأ في أحضان تقاليد الفلسفة اليونانية إلا أنه تحول أخيراً إلى المسيحية. فإذا كان الكون فارغاً تماماً قبل الخلق فلماذا تأخر الله كل هذا الوقت الطويل قبل أن يقرر خلق العالم؟ كتب سان أوجستين في اعترافاته يقول[٢]:

> **إذا استغرب أي عقل مختل أنك أيها الإله القدير العظيم المعز، صانع السموات والأرض، قد أمسكت طوال هذه الأجيال التي لا تحصى عن صنع هذا العمل الكبير الذي صنعته، فليستيقظ هذا العقل ويدرك أنه يستغرب عن وهم زائف. فمهما تعددت الأجيال التي صنعتها، فأنت مؤلف الأجيال جميعاً وأنت خالقها. أين هي تلك الأزمنة التي لم تصنعها؟ أو كيف تمر هذه الأزمنة إذا لم تكن أنت صانعها؟ أما وقد رأينا أنك خالق كل زمان، فكيف نقول إنك امتنعت عن العمل في أي زمن يكون قد سبق خلقك للسموات والأرض؟ أما إذا لم يكن هناك زمن قبل خلقك للسموات والأرض فكيف يسأل «ماذا صنعت وقتئذ؟» ذلك لأنه لم يكن هناك «زمن».**

إن ذلك يعني أنه لم يكن هناك زمن في الفضاء المطلق المفرغ الذي كان موجوداً قبل الخلق، وأنه ليس من المستساغ أن نسأل الله عما كان يفعل «وقتئذ» قبل أن يبدأ الخلق.

وربما يكون من المفيد أن نقارن بين هذه النصوص لسان أوجستين وبين بعض النصوص التي وضعها أينشتاين لكي يفسر بطريقة محببة ومرحة المضمون الرئيسي لنظريته عن النسبية. عندما وصل أينشتاين لأول مرة إلى الولايات المتحدة عام ١٩٢١ قابله في ميناء نيويورك فريق من الصحفيين وطلبوا منه أن يشرح لهم في جملة واحدة الفكرة الرئيسية لنظريته الشهيرة.. أجابهم أينشتاين:[٣]

> **إذا لم تحملوا كلماتي محمل كثير من الجد فإنني أقول لكم هذا: إذا افترضنا أن المادة كلها سوف تختفي من العالم، فإن المرء كان يعتقد قبل النسبية أن الزمان والمكان**

سوف يستمر وجودهما في العالم المفرغ. إلا أنه طبقاً لنظرية النسبية فإنه لن يكون هناك زمان أو مكان إذا آختفت المادة وحركتها.

٢ ـ النسبية في الميكانيكا النيوتونية

علمنا في (الفصل ٣) أن قوانين نيوتن للحركة، والتي تعين العجلة بالنسبة «للفضاء المطلق» لا يمكننا استخدامها إلا في التنبؤ بالحقائق المنظورة إذا كانت هذه الحقائق تفسر على أنها مسندة إلى «نظام قصوري» لأجسام مادية. ومن باب التقريب الأولى يمكننا أن نعرف هذا النظام بأنه مجموعة النجوم الثابتة طالما أمكننا اعتبار أن هذه النجوم تؤلف نظاماً صلباً متماسكاً. وقد تساءل نيوتن فعلاً عما إذا كان من الممكن من خلال التجربة الميكانيكية التي تجري في غرفة معينة أن نعرف ما إذا كانت هذه الغرفة نظاماً قصورياً أم لا، وإذا كانت كذلك فهل هذه الغرفة هي النظام القصوري الوحيد أم لا؟ إذا كانت a_{in} ترمز إلى العجلة بالنسبة إلى نظام قصوري (S)، فإن قوانين نيوتن للحركة يمكن أن تكتب على النحو $ma_{in}=f$، حيث m هي كتلة جسم وحيث f هي «معادلة بسيطة» تعطينا القوة النيوتونية، وإذا تجاهلنا حالياً القوى النووية المسؤولة عن تحركات الجسيمات داخل الذرة، فإنه يمكن تعيين حركة الكتل المتوسطة الأحجام من الواقع بواسطة نوعين فقط من القوى، وهي القوى الكهرومغنطيسية وقوى الجاذبية. ففي الحالة الأولى، إذا زيدت الكتلة (بإضافة مزيد من قطع المادة) فإن العجلة a_{in} سوف تنقص طبقاً للمعادلة $a_{in}=\frac{f}{m}$. فإذا زادت الكتلة زيادة كبيرة فإن العجلة تتناقص تناقصاً لا نهائياً. وهذا هو الحال عندما تكون القوة من النوع الكهرومغنطيسي. إذا كانت e هي الشحنة الكهربائية وكانت E شدة المجال الكهربائي فإن $f=eE$، وكذلك $a_{in}=\frac{e}{m}\times E$. وفي وجود مجال معين، وفي حالة تزايد الكتلة فإن العجلة بالنسبة للنظام القصوري تتناقص نحو الصفر. وتنتمي إلى نوع القوى الاكلترومغنطيسية كل قوى التلاصق، ومن بينها القوى التي تنشأ عندما يدفع أو يجذب جسم دفعاً أو جذباً مباشرين. وهناك نوع آخر من القوى. لقد عرفنا منذ زمن جاليليو أن الأجسام عندما تسقط سقوطاً حراً فإن عجلة تحركها بالنسبة للأرض لا تتوقف على كتلة الجسم. وهذا يعني أن f/m لا تتوقف على m أو أن f تتناسب مع m. وإذا

كانت $f=mg$ فمن الواضح أن $g=\frac{f}{m}$ لا تتوقف على m. وهذا هو نوع قوى الجاذبية. وسوف ندع هذا النوع عند هذه النقطة ونتناول فقط القوى التي تؤثر على الكتل الكبيرة جداً فقط لتكسبها عجلة صغيرة جداً.

بينما تعطي قوانين نيوتن قيمة العجلة a_{in} بالنسبة لنظام قصوري فسوف ندرس الآن العجلة بالنسبة لنظام اختياري («المركبة» أو أداة النقل، the vehicle)، والتي تحدثها القوة f التي قد تكون eE على سبيل المثال. وللتبسيط يمكننا أن نفترض أن كل القوى والعجلات لها نفس الاتجاه. ولتكن a_{ve} هي عجلة المركبة بالنسبة للنظام القصوري (S)، أما a_{in} فهي عجلة الكتل m بالنسبة للنظام القصوري (S)، وعجلة الكتلة m بالنسبة «للمركبة» سوف نرمز إليها بالرمز a، حيث إن المركبة نظام اختياري أو، كما سماها أرسطو، «مكان متحرك».

ومن الواضح الآن أن $a_{ve}+a=a_{in}$، وتصبح معادلة الحركة في الصورة $ma_{in}=ma_{ve}+ma=f$ أو $ma=f-ma_{ve}$ فمثلاً $ma=eE-ma_{ve}$. وإذا أسندنا الحركة إلى نظام مركبة اختياري فإن العجلة a لكتلة m لا تتعين بقوانين نيوتن (eE مثلاً) وحدها؛ ويجب أن نضيف حداً (ma_{ve})، وهي ما يسمى «بالقوة القصورية» f. وعلى هذا فإن قوانين الحركة بالنسبة لنظام مركبة اختياري تتخذ الصورة $ma=f+f_{in}$، حيث $f_{in}=-ma_{ve}$. ويمكننا أن نرى على الفور أن قوانين الحركة بالنسبة لنظام إسناد غير النظام القصوري يمكن صياغتها بأن نضيف إلى القوة النيوتونية «قوة قصورية» $f_{in}-ma_{ve}$. وهذه القوة من نوع قوى التجاذب وليست من النوع الكهرومغنيطيسي. وبالقسمة على m نحصل على العجلة a بالنسبة لنظام اختياري: $a=\frac{f}{m}+\frac{f_{in}}{m}=\frac{f}{m}-a_{ve}$. وإذا كانت الكتلة كبيرة جداً فإن العجلة تُصبح $a=a_{ve}$. وبما أن a يمكن قياسها بعمليات قياس عادية، فإنه يمكن قياس العجلة a_{ve} لتحرك أي «مركبة» بالنسبة لنظام قصوري، حيث $a_{ve}=-a$.

وكما نتذكر، فإن نيوتن قد عرف النظام القصوري «بفضائه المطلق» الذي لم يكن جسماً مادياً ولكنه كان «مركز الإحساس الإلهي»(٥). ولقد وجه نيوتن الانتباه فعلاً إلى أن عجلة الجسم الكبير جداً بالنسبة لنظام اختياري للإسناد تمدنا بعجلة مركبته بالنسبة «لفضاء مطلق». فإذا دفعنا كرة كبيرة جداً في جناح بقطار سكة

حديدية، فيمكننا أن نحدد العجلة a_{ve} للجناح (بالنسبة لنظام قصوري) وذلك بواسطة العجلة a للكرة بالنسبة للجناح. والمثال المألوف لذلك هو دوران المَركبة؛ ولسنا مضطرين في هذه الحالة إلى التعامل مع التحركات في نفس الاتجاه؛ فكل عجلة أو قوة هي كمية متجهة $\overline{a}$ أو $\overline{f}$ لها مقدار واتجاه. والعجلة a_{ve} على مركبة تتحرك حركة دورانية هي عجلة جذب مركزي. ومن ثم فإن العجلة $\overline{a}$ لكتلة بالنسبة للمَركبة هي عجلة متجهة بعيداً عن محور الدوران في اتجاه طرد مركزي. وفي تجربة الدلو الشهيرة اعتبر نيوتن أن حركة «الطرد المركزي» للكتل هي معيار لدوران نظام الإسناد بالنسبة للفضاء المطلق. ولذلك فقد ادعى نيوتن أن «دوران حجرة بالنسبة للفضاء المطلق»، له نتائج يمكن رؤيتها بالتجارب المادية (ظاهرة الطرد المركزي).

ويختلف الوضع إذا كانت «المركبة» تتحرك بسرعة ثابتة q في خط مستقيم بالنسبة للنظام القصوري. ففي هذه الحالة تكون $a_{ve}=0$، وتعين العجلة بالنسبة للمركبة بواسطة العلاقة ma=f، تماماً كما لو كانت المركبة نظاماً قصورياً. أما سرعة المركبة q بالنسبة للنظام القصوري فيمكن أن تتخذ قيمة اختيارية ثابتة. ولا تظهر هذه القيمة في قانون الحركة الذي يعين العجلة a. ولهذا إذا عرفت جميع المواضع والسرعات الابتدائية لكل الكتل بالنسبة للمركبة فإن القانون ma=f يمكننا من حساب كل الحركات المستقبلية بالنسبة لنفس المركبة. وليس من الضروري أن تعرف q، وبالطبع، إذا تأملنا قوانين الحركة بالنسبة للمركبة، فإن المرء لا يستطيع أن يعرف شيئاً عن السرعة q بالنسبة للنظام القصوري. وهذه النظرية الناشئة عن قانون نيوتن تسمى «نظرية النسبية» لنيوتن. ويمكن صياغة هذه النظرية بطريقة ايجابية أو طريقة سلبية. والصياغة الايجابية هي: إذا عرفت الظروف الابتدائية للكتل التي بالمركبة فإنه يمكن حساب حركاتها النسبية المستقبلية دون معرفة السرعة q للمركبة نفسها. أما الصياغة السلبية فتجري على هذا النحو: بمشاهدة الحركات بالنسبة لمركبة، لا يمكننا أن نعرف السرعة الثابتة q لهذه المركبة، بشرط أن تكون متحركة في خط مستقيم بالنسبة لنظام قصوري - ويمكننا أيضاً أن نقول: المركبة التي تتحرك حركة منتظمة بالنسبة لنظام قصوري (S) هي نفسها نظام قصوري يمكن أن نسميه (Ś). ومن هذه الاعتبارات يتضح أن السرعة

q للنظام (Ś) بالنسبة للنظام القصوري، أو بالنسبة للفضاء المطلق (طبقاً لنيوتن)، لا يمكن استنباطها من أي تجربة فيزيائية. وليس لهذه السرعة q أي معنى تشغيلي في الفيزياء، وقد أعطاها نيوتن معنى في نطاق النظام اللاهوتي.

٣ ـ نسبية نيوتن والظواهر الضوئية

من خلال التجارب العملية داخل مركبة عرفنا أن حركتها في خط مستقيم بسرعة ثابتة q لا تكشف عن ذاتها. ويمكننا الآن أن نتساءل عما يكون عليه الحال إذا أبصرنا ظواهر ضوئية ذات ظروف ابتدائية محددة ومعينة بالنسبة لنفس «المركبة» (Ś). هل سيكون للسرعة الخطية للمركبة q بعض التأثير على نتائج التجربة الضوئيـة؟ فبعد النجاح الكبير الذي أحرزته الميكانيكا النيوتونية ساد التفكير في أن الظواهر الضوئية يجب تفسيرها بواسطة النظريات الميكانيكية للضوء. كانت هناك نظريتان من هذا النوع، وقد افترضت كل منهما الصلاحية العامة للميكانيكا النيوتونية لتطبيقها على جميع ظواهر الحركة. افترضت النظرية الأولى أن الضوء يتكون من جسيمات دقيقة تنبعث من مصدر الضوء لتسقط على عيوننا. وتخضع هذه الجسيمات خضوعاً دقيقاً لقوانين الميكانيكا النيوتونيـة؛ وتلك هي «النظرية الجسيمية للضوء». أما النظرية الأخرى فتفترض أن الحيز الكوني يمتلىء بوسـط رقيق مرن، وهو الأثير، وأن هذا الوسط يخضع أيضاً لقوانين الميكانيكا النيوتونية. ويتكون الضوء من أمواج تنتشر خلال هذا الوسط.

وطبقاً للنظرية الجسيمية ينتقل الضوء خلال الماء بسرعة أكبر من سرعة انتقاله خلال الهواء (بسبب زيادة التجاذب المتبادل في الوسط الأكثر كثافة). أما النظرية الموجبة فتقتضي بأن تكون سرعة الضوء في الماء أقل منها في الهواء (إذ انه طبقاً للميكانيكا النيوتونية بشأن الأجسام الصلبة والمائعة فإن الأمواج تنتشر بسرعة أصغر في الأوساط الأكبر كثافة). وقد أثبت العالم الفرنسي فوكولت[٦] بتجربة حاسمة أجراها عام ١٨٥٠ أن الضوء ينتقل في الماء بسرعة أقل من سرعة انتقاله في الهواء: وقد ظهر من ذلك أن النظرية الجسيمية للضوء، قد دحضت «بتجربة حاسمة». وقد قبلت النظرية الموجبة بوجه عام. وكان القرار ذا علاقة كبيرة بما إذا كانت الظواهر الضوئية بالنسبة لغرفة تتأثر بالسرعة q التي تتحرك بها هذه الغرفة؛

وبعبارة أخرى هل تنطبق نظرية النسبية لنيوتن على الظواهر الضوئية أيضاً أم لا تنطبق؟ وإذا قبلنا النظرية الجسيمية فإن انتقال الضوء لا يختلف عن حركة الكرات المقذوفة. فسلوك هذه الكرات بالنسبة للمركبة لا يتوقف على السرعة q التي تتحرك بها هذه المركبة. كما أن نظرية النسبية أيضاً سوف تنطبق على الظواهر الضوئية. إلا أن الوضع سوف يبدو مختلفاً إذا قبلنا النظرية الموجبة. فالضوء إذن يتكون من ذبذبات في الأثير. وإذا أردنا أن نتنبأ بانتقالات الضوء في مركبة تتحرك بسرعة q فيجب أن نضع فرضاً ما بشأن الطريقة التي تؤثر بها حركة المركبة على سرعة جسيمات الأثير.

ويوحي الزيغ[٧] (أو الشرود) الذي يطرأ سنوياً على الضوء القادم من النجوم الثابتة بأن الأثير الذي يملأ الفضاء الكوني لا بد أن يظل ساكناً. والضوء القادم عمودياً على اتجاه سرعة الأرض في مدارها يظهر منحرفاً بزاوية قدرها q/c (زاوية الزيغ) حيث c هي سرعة الضوء خلال الفراغ. ويدل ثبات قيمة هذه الزاوية تحت كل الظروف على أن سرعة الأرض q لا تشكل عاملاً مؤثراً يضاف إلى تذبذب جسيمات الأثير. وإذا قارنا بين انتشار الضوء الصادر من مصدر ساكن في الأثير (النظام S) ومصدر ساكن في المركبة الأرض (النظام Ś)، فإن الظروف الابتدائية بالمعنى الميكانيكي تختلف من حالة إلى أخرى. ففي الحالة الأولى نرى أن السرعات الابتدائية لجسيمات الأثير هي سرعات ذبذبات صغيرة. إلا أنه بالنسبة إلى (Ś) فإن كل الجسيمات يكون لها مركبة (q−) للسرعة بالاضافة إلى سرعات الذبذبات لأن (Ś) تتحرك بسرعة q بالنسبة إلى الأثير. ولهذا فإنه لا يمكننا أن نتوقع أن تنطبق نظرية النسبية لنيوتن على انتشار الضوء.

ويمكن بسهولة أن نرى نوع التعارض مع نظرية النسبية الذي يمكن أن نتوقعه على أساس نظرية الأثير للضوء. فالضوء الصادر من مصدر ساكن في الأثير (أي في النظام S) سوف ينتشر بسرعة c بالنسبة إلى S فإذا كان المصدر ساكناً في المركبة (Ś) فإن الضوء سوف ينتشر أيضاً بسرعة c بالنسبة إلى S لأن السرعة تعتمد فقط على الخواص المرنة للوسط ولا تعتمد على طريقة الإثارة. ولهذا فإنه بالنسبة إلى (Ś)، فإن الضوء الصادر من مصدر ساكن في (S) سوف ينتشر بسرعة (c+q) أو (c−q)، حسبما إذا كان اتجاه q هو نفس اتجاه شعاع الضوء أو الاتجاه المضاد له.

ويبدو من هذا أن السرعة q للمركبة المتحركة بانتظام بالنسبة إلى الأثير (S) سوف يكون لها تأثير على انتشار الضوء بالنسبة للمركبة، وأنه من ناحية أخرى، يمكن حساب q من مشاهدتنا للظواهر الضوئية الحادثة في المركبة. وقد شغلت المحاولات في هذا السبيل فصلاً كبيراً من تاريخ الفيزياء النظرية والتجريبية. وقد وجد أن ظاهرتي الانعكاس والانكسار لا تقدمان نتائج يمكن مشاهدتها عملياً، ناهيك عن قياسها. وتمثلت ذروة هذه المحاولات في الاقتراح الذي قدمه العالم البريطاني الكبير جيمس كلارك مكسويل. فقد ابتكر تجربة يمكن بها قياس تأثير سرعة الأرض (q) على الظواهر الضوئية التي تقع على سطح الأرض. فقد وجد أنه ما من تجربة تعطي نتائج تناهز $\frac{q}{c}$ من ناحية القيمة والرتبة. فالتجربة التي اقترحها مكسويل تحدث تأثيراً يناهز $\frac{q^2}{c^2}$ ، ولكنها على أية حال يمكن قياسها إذ يمكن تطبيق تداخل أمواج الضوء في هذا القياس.

وقد اقترح[٨] مكسويل أن يدرس انعكاس الضوء الصادر من مصدر ساكن فوق مركبة لينعكس على سطح مرآة تبعد مسافة L عن المصدر. وقد قارن مكسويل بين الزمن الذي يستغرقه الضوء في قطع هذه المسافة عندما يكون انتشاره موازياً لحركة المركبة (الأرض) والزمن المستغرق عندما يكون الانتشار عمودياً على اتجاه حركة المركبة. فإذا كانت المركبة ساكنة (q=0) فإن الزمن المستغرق في الانعكاس يكون $T_0=\frac{2L}{c}$، وهو لا يتوقف على اتجاه شعاع الضوء. وإذا كانت المركبة تتحرك بسرعة q، فإن زمن الانعكاس الموازي للسرعة q يكون $T_p=\frac{T_0}{1-q^2/c^2}$ وزمن الانعكاس المتعامد على السرعة q يكون $T_n=\frac{T_0}{\sqrt{1-q^2/c^2}}$. وهذه نتيجة بسيطة لافتراضنا أن سرعة الضوء بالنسبة إلى S (الأثير) هي دائماً c، وأن الأثير لا يتأثر بحركة النظام (Ś) خلاله. ومن الواضح أن T_n أصغر من T_p. والفرق (T_p-T_n) يساوي على وجه التقريب $\frac{1}{2}\frac{T_0q^2}{c^3}=\frac{Lq^2}{c^3}$. ثم يبين مكسويل أنه يمكن قياس (T_p-T_n) بمقارنتها بزمن الدورة الذبذبية للضوء، وذلك من خلال وضع المرآتين بحيث يتداخل الشعاعان الضوئيان (الموازي والمتعامد). ولم يكن هناك ثمة سؤال سوى: هل هناك تجربة حقيقية بحيث لا يتجاوز الفرق (T_p-T_n) حدود الخطأ في هذه التجربة؟ فإذا

وجدت مثل هذه التجربة فإن استخدامها يصبح صالحاً لحساب السرعة q. إن انجاز التجربة التي اقترحها مكسويل من شأنه أن يزودنا بالتأكيد النهائي للنظرية الجارية القائلة بأن الأثير لا يتحرك بتأثير السرعة q التي تتحرك بها الأجسام المادية، ولكنه ينقل ذبذبات الضوء بسرعة c.

وقد وضع اقتراح مكسويل موضع التنفيذ على يدي الفيزيائي الأمريكي البرت. أ. ميكلسون[٩]، ولم يكن قد مر زمن طويل بعد وضع الاقتراح عام ١٨٨١. وقد جاءت نتيجة ميكلسون سلبية. كان الفرق الزمني المتوقع $(T_p - T_n)$ أكبر من حد الخطأ التجريبي؛ وإذا أهملت الأخطاء فإن الفرق الزمني يصبح صفراً. وقد يعني هذا أن السرعة q للمركبة لا يمكن أن تؤثر على الظواهر الضوئية الحادثة في المركبة. وبعبارة أخرى، فإنه يعني أن نظرية النسبية لنيوتن تصلح أيضاً للظواهر الضوئية، وبالرغم من أنها يجب ألا تنطبق، وذلك طبقاً لما هو مستنتج من الميكانيكا وبالنظرية الجارية بشأن الأثير (كما أثبت مكسويل). وقد تطلع معظم معاصري ميكلسون، ومن بينهم ميكلسون نفسه، إلى ايجاد تفسير في نطاق النظرية السائدة بأن الضوء كان ظاهرة ميكانيكية وأن الأثير وسط يخضع لقوانين الحركة لنيوتن. وبالطبع يستطيع المرء في هذا الإطار أن يعدل الفرض القائل بأن ذبذبة الجسيمات لم تتأثر بالسرعة q للمركبة المتحركة خلال الأثير. وقد تبنى ميكلسون ومعظم معاصريه نظرية ستوك القائلة بأن جسيمات الأثير عند سطح الأرض تضيف السرعة q إلى ذبذبتها. وفي هذه الحالة لا يكون هناك سبب لاختلاف T_p عن T_n. إن نظرية «الأثير الذي يتحرك مع المادة المتحركة» يصعب مواءمتها مع زيغ ضوء النجوم. ويمكننا بالطبع أن نخترع قوانين لحركة الأثير تمكننا من تفسير الزيغ كما تمكننا من تفسير تجربة ميكلسون، إلا أن النظرية ستصبح بالغة التعقيد. ويمكننا القول بأن النظرية الميكانيكية للضوء قد دخلت عند أواخر القرن التاسع عشر في حالة بالغة التعقيد والتشويش.

٤ ـ الصورة الكهرومغنطيسية للكون

كانت تجربة نيكلسون واحدة من المناسبات التي أدت فيها محاولات استنباط كل الظواهر الفيزيائية من قوانين الحركة لنيوتن إلى إثارة المتاعب. فلم «يثبت» على

وجه التأكيد أن من المستحيل أن نعتبر انتشار الضوء ظاهرة ميكانيكية، غير أنه من المؤكد أنه اتضح أن الاستنباط من قوانين نيوتن بطريقة «سهلة» لا يزال أمراً ضرورياً. وفضلاً عن ذلك، كان هناك المجال الواسع «للظواهر الكهرومغنطيسية». استنبطت هذه الظواهر منذ العقود الأخيرة في القرن التاسع عشر من القوانين التفاضلية لمكسويل عن «المجال الكهرومغنطيسي». وقد اعتبرت «قوانين المجال» هذه في بادىء الأمر على أنها تصف ميكانيكية خاصة تخضع لقوانين الحركة لنيوتن. وقد ابتكر مكسويل نفسه ميكانيكية من هذا النوع. لم يكن استنباط القوانين الكهرومغنطيسية من مثل هذه الميكانيكيات أمراً مقبولاً تماماً على أية حال. وفي نهاية الأمر، في عام ١٨٨٩، ذكر هنريتسن هيرتز[١٠] صراحة أن نظرية الظواهر الكهرومغنطيسية كانت مماثلة لقوانين المجال لمكسويل، تماماً مثلما كانت نظرية الحركة لنيوتن مماثلة لقوانين الحركة لنيوتن. إن تحويل قوانين المجال إلى قوانين الحركة غير ذي موضوع. وفي خلال فترة معينة قدم الفيزيائيون عرضاً «ازدواجياً» لعلومهم. اعتبر الجزء الأول أنه «فيزياء المادة»، ويشمل الميكانيكا، والصوتيات، والحرارة. أما الجزء الثاني، «فيزياء الأثير» فيشمل الكهرباء والمغنطيسية والضوء. وسرعان ما اتضح أن هذا التقسيم المحدد لا يؤدي إلى استنباط مرض لكل التجارب المتعلقة بالتفاعل بين حركة الأجسام المادية وبين انتشار الأمواج الكهرومغنطيسية. ومن الواضح أن ذلك كان نتيجة للفشل في تفسير تجربة ميكلسون على أساس قوانين نيوتن.

وفي عام ١٨٩٠ بين الفيزيائي البريطاني جوزيف جون طومسون[١١] أن الجسيم ذا الكتلة الميكانيكية الصغيرة جداً يمكن أن يكون له قصور ذاتي هائل إذا كان الجسيم يحمل شحنة كهربائية كبيرة أو كان يتحرك بسرعة كبيرة. وهذا الأمر الذي يمكن استنباطه من قوانين المجال الكهرومغنطيسي قد عبر عنه في أول الأمر على النحو التالي: بكل شحنة كهربائية «كتلة ظاهرية» تسلك مسلك «الكتلة الحقيقية» إذا وضعت تحت تأثير إحدى القوى. وفيما بعد، جازف أحدهم بنظرية تقول بأنه قد لا توجد هناك أي كتلة حقيقية على الإطلاق وأن القصور الذاتي كان إحدى ظواهر المجال الكهرومغنطيسي. وقد استنبط الفيزيائي الهولندي الكبير هندريك آ. لورنتز[١٢] من تلك النظرية أن الكتلة الظاهرية لجسيم تتزايد بتزايد

سرعة الجسيم وتتجاوز زيادتها كل الحدود إذا قاربت سرعتها سرعة الضوء. وإذا بدأنا من «النظرية الكهرومغنطيسية للكتلة» فإن كل كتلة تتصف بهذه الصفة، ويمكننا أن نستنتج أن سرعة الضوء تدخل ككمية ثابتة في معادلة الحركة. فقوانين نيوتن يجب تغييرها بحيث تتضمن سرعة الضوء. وتأثير القوة على الكتلة يعتمد على النسبة $\frac{v}{c}$، حيث v هي سرعة الكتلة، c هي سرعة الضوء.

وإذا عدنا الآن إلى تجربة ميكلسون (التي نوقشت في القسم ٣) وطبقنا عليها النظرية الكهرومغنطيسية للمادة نجد أنه يمكننا تجنب التناقض بين الاستنباط النظري والنتيجة التجريبية. فقد وجدنا أن ($T_n<T_p$) بتطبيق الميكانيكا النيوتونية، بينما أظهرت التجربة أن $T_n=T_p$. وقد نشأ عدم التساوي عن الاعتبار التالي:

$$T_p=\frac{T_0}{1-q^2/c^2}\text{، }T_n=\frac{T_0}{\sqrt{1-\frac{q^2}{c^2}}}\text{، حيث }T_0=\frac{2L}{c}.$$

وترمز L في هذه الصيغة إلى طول أي من الذراعين المتساويين لجهاز ميكلسون عندما يكون ساكناً. وينتج من ميكانيكا نيوتن أن يظل طولاهما متساويين عندما يكون الجهاز متحركاً بسرعة كبيرة. وإذا افترضنا أن كتلة الجسيمات التي يتكون منها الذراعان هي «كتلة كهرومغنطيسية» وأنها تستمد أصلها من الشحنات الكهربائية لهذه الجسيمات، فإن تحرك الجسيمات في اتجاه معين تنشأ عنه تيارات كهربائية في هذا الاتجاه. ويؤثر كل من هذه التيارات على الآخر، الأمر الذي يفسر وجود توتر في الذراعين، وهذا التوتر هو السبب في حدوث تغير في شكل الذراعين. وقد بين لورنتز أنه من المعقول أن تحدث هذه التوترات تقلصاً للذراعين في اتجاه الحركة. ومن ثم فإن طولي الذراعين أثناء الحركة لا يكونان متساويين. فإذا رمزنا إلى طولي الذراعين بالرمزين L_p، L_n على الترتيب (وليس بالرمز L فقط) فإن زمني الانعكاسين يصبحان

$$T_p=\frac{2L_p}{c(1-\frac{q^2}{c^2})}\text{، }T_n=\frac{2L_n}{c\sqrt{1-\frac{q^2}{c^2}}}.$$

وقد وضع لورنتز بعض افتراضات بشأن توزيع الشحنات في الجسيمات، بحيث أمكنه أن يستنتج منها أن $L_p=L_0\sqrt{1-q^2/c^2}$، $L_n=L_0$ هما علاقتان يمكن أن تنسجما مع قوانين المجال الكهرومغنطيسي. لكن لدينا عندئذ أن $T_n=\frac{T_0}{\sqrt{1-q^2/c^2}}$ لـ T_p وهذا يتفق مع النتيجة

السلبية لتجربة ميكلسون.

ونرى الآن أنه يمكننا من «النظرية الكهرومغنطيسية للمادة» أن نستنبط قوانين جديدة للحركة وأن هذه القوانين الجديدة تتضمن سرعة الضوء c ككمية ثابتة، وتنطوي هذه القوانين على اختلاف كبير مع قوانين نيوتن إذا كانت q/c تقارب الواحد الصحيح، ولكنها تكاد تماثل قوانين نيوتن إذا كانت q/c صغيرة جداً. وإذا قبلنا هذه القوانين الجديدة للحركة أمكننا أن نفسر التفاعل بين حركة الأجسام وانتشار الضوء كما تكشف عنه الظواهر الضوئية في الأجسام المتحركة وكما تكشف عنه تجربة ميكلسون على وجه الخصوص.

كان تقبل «النظرية الكهرومغنطيسية للمادة» عاملاً هاماً من عوامل تطور الفكر العلمي والفلسفي. ومنذ بزوغ العلوم الحديثة (حوالى عام ١٦٠٠) كانت الفكرة السائدة بين العلماء هي الإيمان «بعلم ميكانيكي»، وهذا يعني الإيمان بأن الظواهر المادية تكون «مفهومة» أو «مفسرة» فقط إذا أمكن اخضاعها لقوانين نيوتن. ومن الواضح أن « النظرية الكهرومغنطيسية للمادة» قد أسقطت هذا الشرط. وابتداء من هرتز، نص على أن على الإنسان أن يكف عن محاولة اخضاع كل الظواهر المادية لقوانين الميكانيكا. وبدلاً من هذا اشترط على ضرورة أن تكون كل الحقائق المادية مستنبطة من قوانين مكسويل للمجال الكهرومغنطيسي. كان ذلك يعني تغيراً جذرياً في موضوع «الفهم» أو «التفسير». فقد أثير شرط الإخضاع إلى قوانين نيوتن لأنه كان المعتقد أن هذه القوانين كانت «غنية عن البرهان». فالإخضاع لقوانين نيوتن يعني الإخضاع لمبادىء «جلية» بمفهوم أرسطو. ومع ذلك، فمن العسير على أي مرء أن يفكر أن قوانين مكسويل للمجال الكهرومغنطيسي كانت قوانين جلية أو غنية عن البرهان. ولذلك فقد كان العدول عن تفسير ميكانيكي يعني أيضاً اسقاط طلب الاشتقاق من المبادىء الجلية. فقوانين مكسويل للمجال الكهرومغنطيسي ونظرية لورنتز بشأن توزيع الشحنات الكهربائية في الجسيمات «المادية» قد قبلت فقط لأن الحقائق المنظورة بشأن حركة الأجسام وانتشار الضوء قد أمكن استنباطها. والمعيار الذي وضعه توماس أكويناس للنمط المتخلف من أنماط الحقيقة (وهو الحقيقة «العلمية» لا «الفلسفية»)

أصبح المعيار الحاسم. فمبادىء الفيزياء لم تكن لتقبل ما لم تصمد أمام اختبار التماسك المنطقي والتأييد التجريبي. كان عصر الفيزياء الميكانيكية يقترب من نهايته، بينما كان عصر الفيزياء المنطقية التجريبية قد بدأ. ويمكننا أن نقول إن العصر الميكانيكي قد امتد على وجه التقريب منذ عام ١٦٠٠ حتى عام ١٩٠٠، بينما استهل القرن العشرين بالمفهوم المنطقي التجريبي للعلم.

كان التفسير الفلسفي للصورة الكهرومغنطيسية للكون هو نقطة البدء في كتاب لينين «Materialism and Empirocriticism» الذي كتبه عام ١٩٠٣[١٣] والآراء التي قدمها لينين في معركته ضد نوع واحد من التفسير أصبحت حجر الزاوية في الفلسفة الرسمية للاتحاد السوفيتي، وخاصة فلسفة العلم التي سادت في تدريس العلوم في الجامعات الروسية.

٥ ـ مبادىء نظرية أينشتاين

من المؤكد أن المبادىء النيوتونية للحركة لم تكن نتيجة خبرة الإنسان بالحركات التي كان يشهدها في حياته اليومية. فقد احتوت هذه المبادىء على عناصر خيال رفيع مثل قانون القصور الذاتي. ومع ذلك، كانت قوانين نيوتن أقرب إلى الخبرة اليومية للإنسان من قوانين الحركة المشتقة من الصورة الكهرومغنطيسية للكون. إن إدخال سرعة الضوء في قوانين الحركة بعيد جداً عن مشاهدات الحياة اليومية لأن هذه السرعة لا تؤثر على الحركات المنظورة ما لم تكن سرعة هذه الحركات قريبة من سرعة الضوء، ومثل هذه السرعة الكبيرة لا تتوافر في أي حركة نشهدها في الميكانيكا التقنية أو حتى في الفلك. وبقبول الصور الكهرمغنطيسية كان لا بد من العدول عن الرأي القائل بأن المبادىء العامة للميكانيكا يجب أن تعكس خبراتنا اليومية بشأن الحركات. وهذا أمر وثيق الصلة بإغفال الشرط الذي يتطلب أن تكون المبادىء العامة مبادىء «جلية».

أصبح الطريق الآن ممهداً لوضع المبدأين الجديدين اللذين تميزت بهما فيزياء القرن العشرين: وهما نظرية النسبية ونظرية الكم. كانت علوم القرن العشرين تهدف إلى بناء نظام بسيط للمبادىء يمكن أن تستنبط منه الحقائق المنظورة بواسطة

فيزياء القرن العشرين استنباطاً رياضياً. لم يعد متطلباً أن تكون هذه المبادىء أو تكون بعض نتائجها متفقة مع خبراتنا اليومية، أو، بعبارة أخرى أن تكون متفقة مع «الفطرة السليمة». كان المطلوب هو درجة عالية من البساطة والاتفاق المنطقي مع التجارب الجيدة لفيزيائيي القرن العشرين. وفي عام ١٩٠٥ وضع ألبرت أينشتاين(١٤) نظريته عن النسبية، التي كانت الحجر الأول في بناء فيزياء القرن العشرين. كان أينشتاين يهدف إلى وضع مبادىء بسيطة يمكن أن يستنبط منها التفاعل بين حركة الأجسام المادية وانتشار الضوء دون أن يدخل في ذلك نظرية الأثير أو فرض لورنتز بشأن توزيع الشحنات الكهربائية في الجسيمات المادية. وقد أدت المبادىء الجديدة إلى القوانين الجديدة للحركة والتي تحتوي على سرعة الضوء، وقد تم ذلك في توافق منطقي.

ولكي يعثر أينشتاين على هذه القوانين الجديدة بدأ بأشهر الحالات التي فشلت فيها القوانين القديمة للحركة وانتشار الضوء عن تقديم الحقائق المنظورة: ونعني بها تجربة ميكلسون. وكما علمنا في (القسم ٣)، تدل هذه التجربة على أن نظرية النسبية لنيوتن تنطبق أيضاً على ظواهر انتشار الضوء في المركبات المتحركة، وبالرغم من أن ذلك يتعارض مع الضوء والميكانيكا النيوتونية. ولذلك جازف أينشتاين بفرض أن مبدأ النسبية قد يكون مبدأ أعلى تعميماً من قوانين الحركة لنيوتن ومن نظرية الأثير للضوء. وقد أخذ أينشتاين من نظرية الأثير نتيجة عامة واحدة كانت تبدو تعميماً معقولاً للحقائق المنظورة: هناك نظام اسناد (F) في الكون يتحرك الضوء بالنسبة له في الفراغ بسرعة ثابتة c مهما كانت السرعة التي يتحرك بها مصدر الضوء بالنسبة إلى (F).. ويسمى هذا المبدأ «**بمبدأ الثبات**» [المبدأ (١)] وافترض أينشتاين بالإضافة إلى ذلك «مبدأ النسبية» [المبدأ (٢)] الذي يمكن صياغته على النحو التالي: يمكن بنظام (F́) للمركبة أن يتحرك بسرعة ثابتة q في خط مستقيم بالنسبة للنظام (F). ونحن نبدأ أي تجربة ضوئية أو ميكانيكية بظروف ابتدائية معلومة بالنسبة إلى (F́). ويقضي المبدأ عندئذ بأن نتائج التجربة لا تتوقف على السرعة q، أو، بعبارة أخرى، إذا كانت الظروف الابتدائية بالنسبة إلى (F́) معلومة، فإنها تحدد الحركة وانتشار الضوء المقبلين، وهما لا يتوقفان على q.

ويمكن أن تستنبط من هذين المبدأين نتائج تبدو متناقضة ظاهرياً، بل قد تبدو متناقضة لنفسها. ولنعتبر شعاعاً من الضوء صادراً من مصدر ساكن في (F). من الواضح أن هذا الضوء ينتشر بسرعة c بالنسبة إلى (F). والمصدر نفسه يتحرك بسرعة q بالنسبة إلى (F́). ويؤخذ من المبدأ (١) أن سرعة انتشار هذا الشعاع الضوئي هي نفس السرعة كما لو كان المصدر ساكناً في (F́) غير أنه في هذه الحالة يقضي المبدأ (٢) (النسبية) بأن تكون سرعة الانتشار بالنسبة إلى (F́) هي c. ويعني هذا أن نفس شعاع الضوء ينتشر بسرعة c بالنسبة إلى (F́) أو بالنسبة إلى أي نظام (F́) أياً كانت قيمة سرعته q. وهذا يعني أننا يمكن أن نستنبط من المبدأين (١)، (٢) نتيجة متناقضة ذاتياً، أو، بعبارة أخرى، أن مبدأ الثبات ومبدأ النسبية يناقض كل منهما الآخر. و«التناقض» في حقيقة الأمر ليس تناقضاً منطقياً؛ فهذا التناقض يحدث فقط إذا أضفنا إلى المبدأين (١)، (٢) تفسيراً مادياً (أو تعريفاً تشغيلياً) وافترضنا أن الأجسام المادية تخضع لقوانين الميكانيكا النيوتونية وأن أمواج الضوء تنتشر خلال الأثير. ونوجز فنقول، إن النظام الذي يتألف من مبدأي أينشتاين (١)، (٢) والقوانين التقليدية في الفيزياء (الميكانيكا والضوء) هو نظام متناقض ذاتياً.

وقد تصور أينشتاين نظاماً جديداً في أساسه للقوانين الفيزيائية يشمل الميكانيكا والضوء. وهذا النظام يزودنا باستنباط جديد للصورة الكهرومغنطيسية للكون في شكل جديد مبسط. ولم يبدأ أينشتاين من القوانين التفاضلية لمكسويل بشأن المجال الكهرومغنطيسي وبنظرية لورنتز بشأن الالكترونات (الشحنات الكهربائية) ولكنه بدأ من مبدأي الثبات والنسبية [(١)، (٢)]. فإذا افترضنا مثلما افترض أينشتاين، أن كلاً من المبدأين صالح للتطبيق، فمن الواضح أنهما لا بد أن يكونا متوافقين. وإذا كان الأمر كذلك فلا يمكن أن تكون القوانين التقليدية للميكانيكا والضوء قوانين صائبة. ومن ثم فإن مبدأي أينشتاين ينطويان على تعديل للقوانين التقليدية للفيزياء (الميكانيكا والضوء). أي أن مبدأي أينشتاين مكافئان لنظرية جديدة للتفاعل بين الحركة المنظورة وانتشار الضوء، وسوف نعرض نتائج ذلك بمزيد من العناية في القسم التالي.

٦ ـ نظرية «النسبية» هي فرض فيزيائي

لكي نفهم نظرية أينشتاين في النسبية جيداً، قد تكون أهم نقطة هي أن نفهم بدقة كيف يستنبط المرء «نسبية المكان والزمان» من فرض فيزيائي. وإذا فهمنا هذا فهماً تاماً فلن ننخدع بما يجري من تفسير خاطىء للفظ «النسبية». ويمكن صياغة التناقض الظاهري بين المبدأين (١)، (٢) في إيجاز على النحو التالي: لنعتبر نظاماً للإسناد (É) (المركبة) كما فعلنا في (القسم ٥)، بحيث يكون هذا النظام متحركاً بسرعة q بالنسبة للنظام الأساسي (F)، حيث $q<c$ ولنعتبر الآن مصدراً للضوء في حالة سكون في المركبة (F́) ينبعث منه شعاع ضوء في نفس اتجاه حركة (F́). طبقاً للمبدأ (١) تكون سرعة الضوء المنبعث بالنسبة إلى ، (F) هي نفس السرعة كما لو كان المصدر ساكناً في (F)؛ وهذا يعني أن هذه السرعة هي c. ومع ذلك، فإنه طبقاً للمبدأ (٢) (النسبية)، فإن السرعة ć للضوء الصادر من مصدر في (F́) بالنسبة إلى (F́) هي نفس السرعة كما لو كان كل من المصدر والمركبة في حالة سكون في (F). وهذا يعني أن $c = ć$. أي أن نفس شعاع الضوء ينتشر بنفس السرعة بالنسبة للنظامين (F)، (F́)؛ ومن ناحية أخرى، فإنه ينتج من أبسط قوانين الميكانيكا التقليدية أن: $(ć=c-q)$. ولا يتناقض بوضوح مع $c=ć$ إذا كانت $q=0$. ومع ذلك، فإن هذا لا يقوم دليلاً على أن المبدأين (١)، (٢) يؤلفان نظاماً متناقضاً تناقضاً ذاتياً، ولكنه يدل فقط على أن المبدأين (١)، (٢) مع قوانين الميكانيكا التقليدية تؤلف في مجموعها نظاماً متناقضاً ذاتياً.

والنتيجة التي نستخلصها من هذا «التناقض الذاتي» تتوقف كلياً على ما إذا كنا نعتبر الميكانيكا التقليدية نظاماً بديهياً شكلياً أو نعتبرها علماً فيزيائياً تجريبياً. وقد ناقشنا هذا التمييز بعناية في (الفصل ٣) (الهندسة) و(الفصل ٤) (قوانين الحركة)، فإذا اعتبرنا قوانين الحركة لنيوتن نظاماً بدهياً شكلياً فإننا يمكن أن نستنبط منه أن $(ć=c-q)$. وبذلك نكون قد أثبتنا أن مبدأي أينشتاين مجتمعين مع بديهيات الميكانيكا النيوتونية تؤلف في مجموعها نظام بديهيات متناقضاً تناقضاً ذاتياً. وسوف يكون ذلك شبيهاً بالهندسة التي نحصل عليها عندما نستبدل بديهيات لوباتشيفسكي ببديهية المتوازيات لأوقليدس، مع الإبقاء على النظرية القائلة بأن

مجموع الزوايا في المثلث المستقيم الأضلاع لا يتوقف على حجم المثلث، وأن هذا المجموع يساوي زاويتين قائمتين. وبالطبع فإن نصوص الهندسة المستوية بشأن الخطوط المستقيمة والزوايا سوف تؤلف عندئذ نظاماً شكلياً متناقضاً تناقضاً ذاتياً. ويمكننا التخلص من هذا التناقض الذاتي بإحدى طريقتين، الأولى طريقة رياضية شكلية بحتة، والثانية طريقة تجريبية فيزيائية، وإذا بدأنا بالحديث عن الطريقة الشكلية يمكننا أن نبين كيف نحصل على نظام متلاحم منطقياً يتضمن بديهيات لوباتشيفسكي بدلاً من بديهيات أوقليدس. ولتحقيق هذا الفرض يجب أن نتخلى عن النظريات التقليدية بشأن مجموع زوايا المثلث وأن نحل محلها النظرية الأكثر تعقيداً والقائلة بأن مجموع الزوايا يتوقف على مساحة المثلث، ولا يساوي هذا المجموع زاويتين قائمتين إلا في حالة المثلثات الصغيرة جداً. وإذا فعلنا ذلك فإننا لن نغير شيئاً في نصوصنا بشأن الكون المادي، ولكننا سوف نغير فقط تعريفنا للخطوط المستقيمة.

وسوف نسلك نفس الطريق طبعاً في حالة المبدأين الجديدين (١)، (٢) لأينشتاين. ويمكننا في هذه الحالة أن نعتبر $(\acute{v}=v-q)$ بديهية شكلية أو تعريفاً يربط السرعة v بالنسبة إلى (F) بالسرعة $\acute{v}$ بالنسبة إلى $(\acute{F})$. وإذا أحللنا بديهية جديدة $\acute{v}=F(v,q,c)$ محل تلك البديهية، فإنه يمكننا أن نرى أن $\acute{v}=c$ إذا كانت $v=c$. ونظرية الإضافة النسبية المعروفة جيداً هي في حقيقة الأمر نظرية من هذا النوع: $\acute{v}=\frac{v-q}{1-vq/c^2}$. ومن الواضح أنه إذا كانت $v=c$ فينتج أن $\acute{v}=c$، وهذه نتيجة لا تتوقف على قيمة q، غير أنه من المؤكد أن أينشتاين لم يكن يقصد ذلك في نظريته عن النسبية بالرغم من أن عدداً كبيراً ممن يعرضون هذه النظرية يتركون هذا الانطباع.

وفي الواقع أن أينشتاين لم يكن يقصد بمبدأيه (١)، (٢) أن يكونا «تعريفين» لمصطلحين. لقد كان من النقاط الأساسية لنظريته أنه أضاف تعريفات تشغيلية إلى الصياغة اللفظية لمبدأيه - وعلى الأخص بالنسبة للمصطلح الأساسي «السرعة بالنسبة إلى نظام إسناد». وبهذه الطريقة حوَّل أينشتاين مبدأيه (١)، (٢) إلى نظريتين فيزيائيتين. وهذا الوضع يناظر مفهوم الهندسة الذي سميناه في (الفصل

٣) بالهندسة الفيزيائية. وإذا استبدلنا بديهية لوباتشيفسكي «ببديهية المتوازيات» لأوقليدس فإننا نغير الفروض الفيزيائية. وعندئذ فإن الفرض الفيزيائي بأن مجموع الزوايا في مثلث من أشعة الضوء لا يتوقف على مساحة المثلث يصبح متناقضاً مع الفرض الجديد (فرض لوباتشيفسكي). ولكي نستعيد التلاؤم بين مبادىء الضوء، يجب أن نضع بدلاً من النظرية الخاصة بمجموع زوايا المثلث نظرية أكثر تعقيداً، ويكون مجموع الزوايا طبقاً لهذه النظرية مختلفاً عن زاويتين قائمتين ويزيد هذا الاختلاف كلما زادت مساحة المثلث. وهذا يعني أننا لو بدأنا من بديهية لوباتشيفسكي بتفسيرها الفيزيائي فإننا نقدم فرضاً فيزيائياً بشأن سلوك أشعة الضوء. وإذا قلنا إن هذا الفرض صالح للتطبيق فإن هذا يعني أن أشعة الضوء تسلك سلوكاً مختلفاً اختلافاً كبيراً عن الطريقة التي يفترض أن تسلك بها طبقاً للفيزياء التقليدية. مجموع زوايا المثلث يعتمد في الواقع على مساحة المثلث. وهذا نص بشأن التفاعل بين أشعة الضوء وأدوات قياس الزوايا، أو بتعبير أعم، بين أشعة الضوء والميكانيكيات.

وإذا نظرنا إلى استنتاجات أينشتاين فإننا نواجه بنفس الموقف إذا أضفنا إلى مبدأي أينشتاين (١)، (٢) التعريفات التشغيلية «لسرعة جسم مادي، ولسرعة انتشار الضوء بالنسبة لنظم الإسناد». والتعريف التشغيلي للسرعة v يقوم على أساس التعريف التشغيلي للمسافة المكانية S والمسافة الزمنية t حيث إن $v=S/t$.
والتعريفان التشغيليان لكل من S، t هما المقياسان العياريان الموصوفان بالكتيبات التقنية التي يرجع إليها صانعو الأجهزة الدقيقة مثل الساعات ومساطر القياس.
ويجب أن نسأل أنفسنا عما إذا كان هذان التعريفان التشغيليان يتضمنان نظاماً خاصاً للاسناد مثل (F)و(F́). وإذا سلمنابأن السرعة v التي تتحرك بها ساعة أو مسطرة قياس بالنسبة إلى (F) لا تأثير لها على قرارات الجهازين، فإن السرعة v لا تكون لها علاقة بنتيجة القياس. ولكننا عرفنا في (القسم ٤) أنه طبقاً لنظرية الالكترونات (شحنات كهربائية أولية) التي وضعها هـ. أ. لورنتز فإن الجسم الصلب المتحرك يتقلص في اتجاه الحركة. وسوف يحدث هذا الأمر للمسطرة على وجه التأكيد. وبما أن المسافة المكانية بين نقطتين تتحدد من خلال وضع المسطرة بحيث ينطبق تدريجها على النقطتين، فإن نتيجة القياس تتوقف على ما إذا كانت

المسطرة في حالة سكون بالنسبة إلى (F)، أو إذا كانت تتحرك بسرعة v- «والمسافة المكانية» بالنسبة إلى (F) معناها نتيجة القياس بمسطرة في حالة سكون بالنسبة إلى (F)، بينما «المسافة المكانية» بالنسبة إلى (F́) تسند إلى مسطرة في حالة سكون في النظام (F́) الذي يتحرك بسرعة q بالنسبة إلى (F). ويطبق نفس التعريف تماماً في حالة «المسافة الزمنية». وقد استنبط لارمور من نظرية الالكترونات أن الساعة التي تتحرك بسرعة q بالنسبة للأثير تعطي تأخيراً في الوقت عن الساعة التي تكون في حالة سكون بالنسبة للأثير. وفي التعريف التشغيلي «للمسافة الزمنية بالنسبة لنظام (F́)» يجب أن ندخل ساعة في حالة سكون في النظام (F́)، ولهذا تكون لها سرعة q بالنسبة إلى (F).

إذا أضفنا هذه التعريفات التشغيلية إلى المبدأين (١)، (٢) (الثبات والنسبية) فإن التناقض القائم بينهما يختفي. ويبدو أن التناقض قد ظهر عندما استنبطنا من المبدأ (١) (القسم ٤) أن $(T_p>T_n)$ بينما يترتب على المبدأ (٢) (النسبية) أن $T_p=T_n$. وإذا أضفنا التعريفين التشغيليين اللذين أشرنا إليهما إلى المبدأين (١)، (٢) فإن العلاقة المستنبطة من المبدأ (١) تعود إلى المسافة الزمنية بالنسبة إلى (F́) بينما يعود مبدأ النسبية (٢) إلى المسافة الزمنية بالنسبة إلى نظام المركبة (F́). فالعلاقة $(T_p=T_n)$ تشير إلى الزمن بالنسبة إلى (F́)، بينما تشير العلاقة $(T_p>T_n)$ إلى الزمن بالنسبة إلى النظام الأساسي (F). وإذا رمزنا إلى المسافتين الزمنيتين بالنسبة إلى (F)، (F́) بالرمزين T، T́ على الترتيب فيكون لدينا $(T_p>T_n)$ و$(\acute{T}_p=\acute{T}_n)$ وهما علاقتان لا تناقض أي منهما الأخرى. كان الفرض الأساسي لأينشتاين هو أن كلًّا من المبدأين (١)، (٢) مبدآن صالحان للتطبيق. وينتج عن هذا الافتراض أن T لا بد أن تختلف عن T́، أو، بعبارة أخرى، أن المسافة الزمنية بين حادثين تعتمد على سرعة الساعة التي تقيس هذه المسافة. فإذا وقع حادث عند نقطة P في النظام (F) واستغرق دقيقة مقاسة بسرعة في النظام (F)، فإنه سوف يستغرق أقل من دقيقة إذا قيس بواسطة ساعة في حالة سكون في النظام (F́) وكان يتحرك بسرعة q بالنسبة إلى (F). وإذا توخينا الدقة في القول، إذا قيست فترة وقوع نفس الحادث بالنسبة إلى (F) وبالنسبة إلى (F́) نجد النسبة بين الفترتين المقاستين هي $\frac{1}{\sqrt{1-q^2/c^2}}$ (القسمين ٣، ٤). ويمكن أن نذكر نفس الشيء

بالنسبة للمسطرة المتحركة. فإذا اعتبرنا نقطتين A، B ساكنتين بالنسبة للنظام (Ḟ)، فإن المسافة AB سوف تعتمد على ما إذا كانت المسطرة المستخدمة في قياس المسافة مسطرة ساكنة في (F) أو في (Ḟ)، أو ما إذا كانت تتحرك بسرعة q بالنسبة إلى (F). وإذا رمزنا إلى هذه المسافة AB بالرمز L عندما تكون المسطرة ساكنة في (F) والرمز Ĺ عندما تكون المسطرة ساكنة في (Ḟ)، فإنه ينتج من صلاحية تطبيق المبدأين (١)، (٢) مجتمعين أن Ĺ أصغر من L، وأن ($\acute{L}=L\sqrt{1-\frac{q^2}{c^2}}$).

ويمكننا أيضاً أن نستنتج من مبدأ النسبية أن التأخير الذي تسجله الساعة المتحركة لا يقتصر عل الساعة ذي الزمبرك أو على الساعة البندولية. فنفس الشيء سوف يحدث إذا استخدمنا أي نمط ميكانيكي للساعات، وليكن على سبيل المثال تذبذب الالكترون في ذرة الصوديوم، أو نبضات القلب البشري. ومن هذا العرض لنظرية أينشتاين التي سميت بنظرية النسبية، نرى أن هذه النظرية هي نظام من الفروض بشأن سلوك أشعة الضوء، والأجسام المتماسكة والميكانيكيات، بحيث يمكن استنباط نتائج جديدة بشأن هذا السلوك، استنباطاً منطقياً. ومن الأمور المضللة أن نردد ما سبق أن تردد كثيراً من أن النظرية الكهرومغنطيسية للمادة كانت «نظرية فيزيائية» «فسرت» النتيجة السلبية لتجربة ميكلسون بينما لم تفسر نظرية النسبية هذه النتيجة ولكنها وصفتها فقط من خلال «تعريف جديد» «للمكان» و«للزمان». ومن المعقول لدى كل إنسان أنه من المستحيل أن نستنبط من التعريفات الجديدة حقائق جديدة بشأن سلوك الأجسام الصلبة وأشعة الضوء. وفي الواقع أن مبدأي أينشتاين (الثبات والنسبية) هما فرضان بشأن مثل هذا السلوك. ومن الواضح أنه يمكن أن تستنبط منهما نظريات بشأن الأجسام الصلبة وأشعة الضوء. وكما بدأت نظرية مكسويل ونظرية لورنتز بشأن المجال الكهرومغنطيسي، فإن نظرية النسبية تبدأ من فروض بشأن حقائق مادية فيما عدا أن الحقائق المفترضة في مبدأي أينشتاين (١)، (٢) هي من نوع أكثر تعميماً من تلك التي صيغت في قوانين المجال الكهرومغنطيسي لمكسويل. وعلينا أن نتنبه، على أية حال، إلى أنه بادخال تعريفات تشغيلية للمصطلحات، فإن كلاً من نمطي النظريات يتحوَّل إلى فروض بشأن الحقائق المنظورة.

٧ ـ نسبية المكان والزمان

اهتمت التفسيرات الفلسفية للفيزياء الحديثة بصيغ مثل « المسافة الزمنية بين حادثين ليست لها قيمة مطلقة (مثل ثانية واحدة)، لكن قيمتها تعرف في كل حالة بالنسبة لنظام اسناد معين». «فهذه المنضدة ذات طول معين بالنسبة للأرض، وذات طول آخر بالنسبة للقمر، وذلك يتوقف على ما إذا كانت المسطرة المستخدمة في قياس الطول هي مسطرة ساكنة بالنسبة إلى الأرض أو بالنسبة إلى القمر. وكثيراً ما فسر الفلاسفة هذا النص بقولهم إنه طبقاً لنظرية النسبية فإن المنضدة ليس لها «طول موضوعي» ولكن لها فقط «طولاً ذاتياً» تبعاً للمشاهد؛ لكن هذا التفسير تفسير مضلل. ويمكننا أن نقدم تفسيراً أفضل إذا تعمقنا أكثر في المعنى التشغيلي لمصطلح «المسافة الزمنية».

ولنبدأ مثلاً بنص يقول إن المحاضرة «تستغرق ساعة واحدة». ومعنى هذا أن عقرب الساعات في الساعة قد دار بزاوية معينة هي ٣٠ درجة أثناء المحاضرة. وقد اتخذت الساعة نفسها تعريفها بالمقاييس العيارية التي يستخدمها صانعو الساعات. ولا ريب في أن الوقت الذي استغرقته المحاضرة لا يحدد بواسطة ساعة معينة؛ فسوف يكون من المغالاة في تبديد الجهد أن نضع تعريفاً للساعة الواحدة بحيث تتوقف على جهاز قياس منفرد. فالزمن لا بد أن يكون قابلاً للقياس حتى بواسطة أنواع مختلفة من الساعات، مثل ساعة الجيب، أو ساعة البندول، أو حتى معدل النبض البشري. ولن تكون ـ للتعريف التشغيلي ـ «للفترة الزمنية» فائدة عملية إلا إذا أعطت كل هذه الأنواع من الساعات قيماً متماثلة. بل إن التقدير السيكولوجي للفترة الزمنية يجب أن يكون مقارباً لهذه القيمة. وإذا اختلف القياس بواسطة أفراد من الطلبة والمدرسين، أو بواسطة الساعات بأبراج الكنائس أو بتوقعات المشاهدين، فإن التعيين لن تكون له قيمة بالنسبة للتعاون البشري. ويرتكز الاتفاق بين أنماط القياس المختلفة على صلاحية قوانين فيزيائية معينة. فالبندول يجري عدداً معيناً من الذبذبات، وزنبرك الساعة ينفك خلال زاوية معينة، ويتسرب حجم معين من الماء من الإناء، وينبض قلب الإنسان عدداً معيناً من المرات، ويصبح المشاهدون منهكين إلى حد معين.

ولكي نحكم على تعريف تشغيلي معين بما إذا كان «عملياً» أم لا ، يجب أن نعرف القوانين الفيزيائية للعمليات التي ينطوي عليها هذا التعريف، ومن ثم فإن كل اكتشاف لقوانين فيزيائية جديدة يحفزنا على تعديل تعريفاتنا التشغيلية لأن هذه التعريفات لا تكون عملية إلا إذا أتاحت لنا صياغة القوانين بطريقة بسيطة. ومن الأمثلة البسيطة على ذلك، لدينا القانون القائل بأن طول الجسم يزيد كلما ارتفعت درجة حرارته. . وقبل أن نعرف هذا القانون، أمكننا أن نعرف وحدة الزمن بفترة ذبذبة بندول طوله متر واحد. ويعني هذا بالتالي أن قضيب البندول كان مساوياً للمتر العياري الموجود بباريس وذلك بانطباق طرفي كل منهما على الآخر انطباقاً مباشراً؛ غير أنه بسبب تأثير درجة الحرارة على طول القضيب، فإن هذا التعيين للزمن سوف يختلف عن تعيينه بواسطة ساعة الزنبرك أو بواسطة نبضات القلب. فعندما تكون درجة الحرارة مرتفعة سوف نجد أن عدد النبضات في وحدة الزمن قد ازداد لأن فترة تذبذب البندول قد زادت لاستطالة القضيب. ولكي نستعيد الوضوح في تعريف الزمن، علينا أن نعدّل تعريف وحدة الزمن على النحو التالي: وحدة الزمن هي فترة ذبذبة بندول ينطبق على المتر العياري بباريس عند درجة تجمد الماء. ويمكننا باستخدام مثل هذا الجهاز للقياس أن نحدد في غير لبس عدد وحدات الزمن التي تستغرقها محاضرة معينة. وإذا استبدلنا «درجة الغليان» بدلاً من «درجة التجمد» في التعريف فإن نفس المحاضرة سوف تستغرق عدداً مختلفاً من وحدات الزمن. ففي الحالة الأولى قد تستغرق المحاضرة ٣٠٠٠ وحدة زمن، بينما تستغرق ٣١٠٠ وحدة في الحالة الثانية. ونرى من هذا المثال أن التعريفات التشغيلية يجب ضبطها وفقاً للقوانين الفيزيائية المعروفة. وكلما كثرت القوانين المعروفة زاد تعقيد التعريفات. فبدلاً من قياس فترة زمنية بوحدات زمن دون تخصيص، فإن علينا الآن أن نقيس بوحدات زمن بالنسبة لدرجة حرارة معينة.

وقد نشأ وضع شديد الشبه بذلك عندما استنتجنا منْ نظرية النسبية أن طول المسطرة وسرعة الساعة يتوقفان على هذين الجهازين المستخدمين في القياس. ومن ثم فإن مثل هذا النص «الفترة التي استغرقتها هذه المحاضرة ساعة» يصبح نصاً مبهماً. إنه يعني فقط أن عقرب الساعة قد دار بزاوية قدرها ٣٠° خلال المحاضرة. ولكي نصنع منه نصاً غير مبهم يجب أن ننص على ما إذا كانت الساعة المستخدمة

ساكنة بالنسبة إلى (F) أو أنها تتحرك بسرعة معينة q بالنسبة إلى (F). وإذا كانت الساعة في حالة سكون بالنسبة إلى المركبة (F) التي تتحرك بسرعة q بالنسبة إلى [F]) فإننا نصوغ نتيجة مشاهدتنا بأن نقول «استغرقت المحاضرة ساعة واحدة بالنسبة للنظام (F́)». وإضافة «بالنسبة إلى (F́)» تعني تحديداً لطريقة القياس، مثل إضافة درجة الحرارة التي ينطبق عندها قضيب القياس على المتر العياري في باريس. وعلى نفس النحو، فإن نصاً مثل «طول هذه المنضدة قدم واحد» يجب أن يحدد باضافة «بالنسبة إلى مركبة (F́)» وذلك لكي يصبح غير مبهم. وتعني هذه الإضافة أنه كلما زادت معرفتنا بالحقائق الفيزيائية أو بالقوانين الفيزيائية، فإن التعريفات التشغيلية يجب أن تصبح أكثر تعقيداً لكي تصاغ القوانين الجديدة على نحو بسيط وعملي.

وكثيراً ما وصف هذا الوضع بالعبارة التالية: أصبح تعبير «الطول المطلق» تعبيراً لا معنى له الآن، وتعبير «الطول النسبي» هو التعبير الوحيد الذي له معنى لأنه يفيد في صياغة القوانين الفيزيائية. ولا اعتراض على استخدام مثل هذه الصيغ إذا فهمناها بالمعنى الذي وصفناه الآن، كتقدم في ألفاظ التعبير يحتمه التقدم في مجال الحقائق والقوانين الفيزيائية. ومع ذلك لا يمكن تفسير هذه الصياغة، على أنها تعني أنه «من المستحيل على العلم» أن يعين «الطول الحقيقي» بشيء مادي، وأن البحث عن الطول الحقيقي قد يكون من شأن مجال «الميتافيزياء» أو «فلسفة الطبيعة»[١٥]. فالطول المعرَّف في نظرية النسبية هو طول حقيقي بنفس القدر مثل الطول المعرف في الميكانيكا النيوتونية. فالطول في كل من الحالتين معرَّف بتعريفَ تشغيلي غير مبهم، ولكن نظراً لأن الميكانيكا النسبية أكثر تعقيداً من الميكانيكا النيوتونية، فإن التعريف التشغيلي «للطول» أو «للفترة الزمنية» أكثر تعقيداً أيضاً. فتعريف الطول يعرف «طولاً حقيقياً» إذا كان مفيداً في صياغة القوانين الفيزيائية.

ويمكننا بالطبع أن نسأل عما إذا كان من الممكن للمرء أن يعرف «الطول الحقيقي» وأن يستخدم هذا المفهوم في صياغة القوانين الفيزيائية التي تتضمنها نظرية النسبية. وهذا السؤال يعود بوجه خاص على القوانين المتعلقة بتوقف قياسات الزمان والمكان على سرعة جهاز القياس. ويمكننا مثلاً أن نسمي الطول

بالنسبة لمجرتنا «بالطول الحقيقي» أو «الطول المطلق» لجسم مادي، وأن نسمي عندئذ الطول بالنسبة لأي نظام إسناد آخر «بالطول الظاهري» أو «الطول النسبي». ولكننا في هذه الحالة لا نستطيع أن نضع مبدأ النسبية في الصيغة البسيطة التي وضعها أينشتاين: «يكون لقوانين الفيزياء نفس الشكل بالنسبة لكل المركبات (F́) المتحركة بسرعة خطية منتظمة q بالنسبة إلى (F́)». فإذا كانت السرعة هنا تعني السرعة بالنسبة لمجرتنا، فإننا لا يمكن أن نصوغ النسبية بمثل هذه الصياغة المختصرة.

إن «تنسيب» (relativization) المكان والزمان ينطوي في الواقع على إدخال تعريفات تشغيلية جديدة تكون أفضل في تطويعها للمتطلبات الواقعية لرجل العلم. إن «تنسيب» المكان والزمان يعتبر تقدماً في علم دلائل الألفاظ وتطورها وليس، كما سبق أن تردد كثيراً، تقدماً في الميتافيزياء أو تطور الكائن الفرد. ولا يمكننا أن نقول إنه «ليس هناك طول حقيقي» ما لم نبدأ من تعريف تشغيلي «للطول». وإذا قارنا بين التعريفات المختلفة «للطول» فلن يمكننا أن نحكم عليها وفقاً لما إذا كانت تتفق والمفهوم «الحقيقي» للطول أم لا، ولكننا نحكم عليها فقط وفقاً لما إذا كانت تفيد في صياغة القوانين المعروفة عن الطبيعة وفي البحث عن قوانين جديدة. ومن الأمور المشوشة أن نقول إنه طبقاً لنظرية النسبية «ليس هناك طول حقيقي، لأن النص ليس له معنى تشغيلي ما لم نحوره ليعني أن مفهوم «الطول الحقيقي» أو «الطول المطلق» لا يفيد في صياغة قوانين الفيزياء العامة بطريقة بسيطة وعملية. وينطبق نفس التأكيد على تعبيرات مثل «الزمان المطلق» أو «السرعة المطلقة».

وقد يختلف حكمنا على مثل هذه التعبيرات اختلافاً كبيراً إذا لم نأخذ في اعتبارنا غير عالم الحقائق المادية بمعناه الأضيق (مثل حركة الكواكب)، بل نضع في الاعتبار أيضاً صورة أشمل للكون، تتضمن ظواهر السلوك البشري باعتبارها حقائق يجب أن نعرضها. بعد أن قدم كوبيرنيكوس نظامه اتفق جميع الناس على أن هذا النظام كان من الناحية الرياضية نظاماً أبسط من النظام الفلكي لبطليموس. ومن ناحية أخرى كان الواضح أن مواءمة هذا النظام مع الفلسفة

الأرسطوية المعروفة كانت أشد تعقيداً من مواءمة النظام الأرضمركزي مع هذه الفلسفة. كانت هذه تمثل صعوبة خطيرة لأن الفلسفتين الأرسطوية والفلسفة التومانية كانتا تعتبران ضروريتين لصياغة القوانين الدينية والأخلاقية بين الناس وكان من إيمان الناس بأن العلم يدعم هذه الصورة للكون أن يزود هؤلاء المؤمنين بمزيد من الشعور بالاطمئنان. أما الحكم بأيهما أهم، تعزيز الطمأنينة أم تقديم صياغات للقوانين المادية تكون أبسط وأفضل من الناحية العلمية؟ فهذا أمر لا يستطيع العلم بمعناه الأضيق أن يقرره، فهو لا ينتمي إلى مجال المشاكل الرياضية أو الفيزيائية. ويمكن أن يتخذ القرار من خلال دراسات للتفاعل بين مختلف فروع النشاط البشري. وعلى سبيل المثال، يجب أن ندرس العلاقة بين الإنسان كصانع للعلم وبنيته كمؤمن بالعقائد السياسية والدينية. وهذا يعني في حالتنا هذه أن تعبيرات مثل «الحركة المطلقة» لا يمكن للفيزياء وحدها أن تحكم بفائدتها، ولكن هذا الحكم يجب أن يعتمد على النتائج المستخلصة من «علوم الإنسان»، مثل علم الفلسفة وعلم الاجتماع.

٨ ـ «اختفاء» المادة و«خلقها»

بجانب مذهب «نسبية المكان والزمان» لم تكن لنظرية النسبية أصداء في «الفلسفة بمعناها المحدد» بقدر ما كان في تأكيدها على أن «المادة» يمكن أن تختفي ويمكن إنتاجها. ويجب ألا ننسى أن المعركة الأساسية التي أشعلها العلم «المادي» ضد الدين التقليدي كانت تتمثل في المذهب القائل بأن «الله قد خلق المادة في البداية من لا شيء». وقبل أن نتطرق إلى هذا الصراع الفلسفي، سوف نحاول أن نفهم ما هو المعنى الذي يمكننا به أن نقول إنه طبقاً للنظرية الفيزيائية للنسبية يمكن للمادة أن تختفي أو أن تنشأ من «لا شيء».

علمنا في (الفصل ٤) أن كمية المادة تقاس في ميكانيكا نيوتن بكتلة الجسم. وعلمنا أنه يمكن تعيين كمية ثابتة، وهي «الكتلة» لكل جسم مادي، وذلك من خلال خطوات قياس معينة. كما علمنا أيضاً أن هذا التعيين يكون غير مبهم فقط في حالة صلاحية تطبيق قوانين الحركة لنيوتن، وإلا فلن يكون هناك رقم ثابت يتصف بكل الصفات التي تتصف بها «كتلة» الجسم في ضوء التعريفات التقليدية.

ويمكن أن نرى بسهولة أن نظرية النسبية لا الفرض بأن قوانين الحركة لنيوتن هي قوانين صالحة لكل الأحوال ـ وبالذات لكل السرعات. وسوف نحاول أن نبين، على نحو تقريبي، أنه، خلافاً لما تقضي به قوانين الحركة لنيوتن، أن الجسم المادي لا يمكن تسريعه لكي تتساوى سرعته مع سرعة الضوء أو تتجاوزها. وهذا أمر مترتب ببساطة على ما أوضحناه في (القسم ٤).

وقد علمنا من نظرية النسبية، أي من صلاحية تطبيق المبدأين (١)، (٢) في آن واحد، أن هذين المبدأين يتواءمان فقط إذا كانت سرعة الساعة المتحركة تتأخر عن سرعة الساعة الساكنة بنسبة $\frac{1}{\sqrt{1-q^2/c^2}}$ ، إذا كانت q هي سرعة الساعة المتحركة، c هي سرعة الضوء. أما إذا زادت q عن سرعة الضوء c فإن $(q/c>1)$ وتكون $\sqrt{1-q^2/c^2}$ كمية تخيلية. وسوف يكون من المستحيل ايجاد أي تغير في معدل الساعة التي تجعل المبدأين (١)، (٢) صالحين للتطبيق في آن واحد. ولهذا فإننا إذا افترضنا صلاحية المبدأين فيجب أن نستبعد إمكانية تسريع جسم مادي لكي تصل سرعته إلى سرعة الضوء بالنسبة إلى النظام (F). وسوف يتناقض ذلك تناقضاً واضحاً مع قوانين نيوتن. وإذا أثرت قوة ثابتة F على جسم كتلته m يتحرك بسرعة v فإن «كمية التحرك» (mv) تزيد في وحدة الزمن بمقدار $\triangle(mv)$ يساوي القوة $F=\frac{\triangle(mv)}{t}$ وإذا كانت m كمية ثابتة فمعنى هذا أن $m\triangle v=Ft$. وإذا كانت t كبيرة بما فيه الكفاية فإن الزيادة في السرعة يمكن أن تصل إلى أي قيمة $\triangle v=\frac{Ft}{m}$. وعلى هذا فإننا يمكن أن نسرع أي جسم مادي إلى أية سرعة؛ ومن ثم، إلى سرعة أكبر من سرعة الضوء. ومعنى هذا فإننا نستنتج من صلاحية تطبيق مبدأي الثبات والنسبية أن قوانين نيوتن لا يمكن تطبيقها في كل الحالات. فهي لا تصلح للتطبيق على جسم تناهز سرعته سرعة الضوء أو، بتعبير آخر إنها صالحة بالنسبة للسرعات الصغيرة، حيث نقصد بكلمة «صغيرة» أنها «صغيرة بالنسبة لسرعة الضوء».

يستند تعريف الكُتلة (كمية المادة) في ميكانيكا نيوتن على صلاحية تطبيق قوانين نيوتن. وهذه الصلاحية هي شرط لازم لكي تكون النسبة ثابتة بين عجلتي جسمين يقعان تحت نفس الظروف. فإذا اخترنا أن تكون كتلة أحد هذين الجسمين

هي وحدة الكتلة فإن هذه النسبة تصبح «التعريف التشغيلي» للكتلة؛ أما إذا كانت هذه النسبة تعتمد على السرعة الواقعية للجسم فلن توجد كتلة ثابتة m تتصف بأنها تساوي النسبة بين العجلتين. وهذا يعني أن التعريف النيوتوني للكتلة ليس له ما يناظره في الطبيعة. فهو يفقد فائدته كتعبير في وصف الظواهر الفيزيائية. وكثيراً ما ذكر أن نظرية النسبية قد «أثبتت» أن كتلة الجسم هي دالة من دلائل سرعته. وهذه الطريقة في الحديث تنطوي على شيء من التضليل، وقد كانت في كثير من الأحيان أساساً للنقد الموجه إلى نظرية النسبية. والطريقة السليمة لوصف الوضع هي تقريباً على النحو التالي: التعريف التشغيلي للكتلة والذي كان مستخدماً في الميكانيكا النيوتونية يفقد فائدته ويجب العدول عنه. ولكي نحافظ على استمرارية العلوم الفيزيائية فإننا يجب أن نستخدم المصطلح «كتلة» مرة أخرى بحيث يحمل تعريفاً تشغيلياً لا يكون مماثلاً لتعريف الكتلة الوارد بميكانيكا نيوتن.

وبما أن المفروض أن ميكانيكا نيوتن صالحة للتطبيق في حالة السرعات «الصغيرة» للجسم، فإننا يمكننا الاحتفاظ بالتعريف التقليدي للكتلة ولكننا نقصره على السرعات الصغيرة (بالنسبة إلى سرعة الضوء). وعلى هذا تكون الكتلة كمية ثابتة وترتبط بالقوة بالعلاقة $m=\frac{F}{a}$ أو $ma=F$. وبهذا المعنى الجديد يمكننا أن نقول إن الكتلة هي مقاومة الجسم ضد تغير سرعته بفرض أن السرعة الواقعية هي سرعة متلاشية أو صغيرة جداً؛ فالكتلة بهذا المعنى تكون هي المقاومة ضد إحداث عجلة لجسم ساكن، وتسمى «كتلة السكون» (m_0). وعلى أية حال، فإن كتلة السكون هذه لا تخضع للعلاقة $ma=F$ عندما تزداد السرعة وتصبح قريبة من سرعة الضوء. ونحن نعلم أن النسبة $\frac{F}{m}$ يجب أن تنخفض عند السرعات العالية، وهذا أمر يتلاءم مع ثبات m_0. وإذا أردنا أن تستعيد «الكتلة» صفتها بأن تكون نسبة بين عجلتين كما كانت في الميكانيكا النيوتونية (الفصل ٤، القسم ٧) فيجب أن نتخلى عن صفة الثبات وأن نفترض أن «الكتلة» تزداد بزيادة السرعة.

وإذا استطردنا قليلاً في النتائج المستخلصة من نظرية النسبية، فسوف نرى أن النسبة $\frac{F}{a}$ عندما تكون القوة في اتجاه السرعة الواقعية سوف تختلف عنها عندما تكون القوة في اتجاه متعامد مع اتجاه هذه السرعة. أي من هاتين النسبتين سوف نسميها «الكتلة». عندما قدم نيوتن مفهوم «كمية التحرك» أو «الزخم»

(mv) أمكننا أن نستنتج من قوانينه أن مجموع كميات التحرك (Σ mv) في أي نظام يظل مجموعاً ثابتاً إذا لم تؤثر قوى خارجية على هذا النظام. وبسبب الـدور الكبير الذي لعبه هذا القانون (قانون بقاء كمية التحرك) تقـرر أن يطلق اسم «الكتلة» على النسبة $\frac{F}{a}$ ، في الحالة التي تكون فيها القوة في اتجاه عمودي على اتجاه الحركة الواقعية لأن هذا التعريف للكتلة «m» يتماثل مع تعريف أن مجموع كل كميات التحرك (Σ mv) سوف يظل ثابتاً خلال كل التفاعـلات داخل النـظام بشرط ألا تؤثر عليه قوة خارجيـة. وتسمى الكتلة m التي تعرف عـلى هذا النحـو «بالكتلة النسبيـة» (relativestic mass). وهي تتزايـد بتزايـد السرعـة، وتحسب من كتلة السكون m_0 وسرعة الضوء c من العـلاقة $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$. وإذا لم تكن v كبيرة جداً، فإن هذه العلاقة تصبح تقريباً في الصورة $m = m_0 + \frac{k}{c^2}$، حيث k هي طاقة الحركة $\frac{m_0 v^2}{2}$ للجسيم.

وقد استخلصت هذه النتيجة حتى قبل أن يقدم أينشتاين نظريته، فقد استخلصها ج.ج. طومسون(١٦)، هـ. أ. لورنتز(١٧)، م. ابراهام(١٨) من النظرية الكهرومغنطيسية للمادة حوالى عام ١٩٠٠. إلا أنه في ذلك الوقت، كانت الميكانيكا النيوتونية أمراً مسلماً به بحيث كان الكلام عن «كتلة» غير ثابتة يبدو أمراً مبهماً أو يبدو تعدياً على ما استقر في أعماق الناس من حديث حول العالم المادي. وقد سميت الكتلة المعتمدة على السرعة v «بالكتلة الظاهرية» لتمييزها عن الكتلة الحقيقية» التي تعرفها كتلة السكون. وفي الواقع أنه لا يمكن أن نقرر أيهما هو الخليفة الشرعي «لكمية المادة» النيوتونية. فكتلة السكون قـد ورثت صفة «الثبات»، في حين أن «الكتلة النسبية» التي تعرف بواسطة $\frac{F}{a}$ قد ورثت صفة كونها النسبة بين القوة والعجلة. ومن ثم فإن تقرير أيهما هو «الوريث الشرعي» للكتلة النيوتونية لا يمكن أن يتم إلا على أساس ما هو ملائم، أو بسيط، أو مثل هذا النوع من الاعتبارات.

وقد تدعمت أسباب تسمية «الكتلة النسبية» $m=m_0+K/c^2$ بالاسم التقليدي للكتلة منذ تركز الكثير من الاهتمام على تحول كتلة السكون إلى طاقة، الأمر الذي

يجري في العمليات النووية. وإذا اعتبرنا ظواهر مثل انشطار ذرة اليورانيوم، يمكننا أن نتساءل عما إذا كان مجموع كتل السكون أو مجموع «الكتل النسبية» هو الذي سيظل ثابتاً عندما تنقسم نواة اليورانيوم إلى أجزاء. ونحن نعلم اليوم، ليس فقط كاستنتاج من نظرية النسبية، ولكن أيضاً من القياسات المباشرة، أن مجموع كتل السكون لأجزاء نواة اليورانيوم أقل من كتلة النواة نفسها قبل الانشطار. ويمكننا أن نثبت أن المجموع Σm_0 ليس هو الذي سيظل ثابتاً أثناء الانشطار، بل المجموع $\Sigma m = m_0 + 1/c^2 \Sigma K_0.$ هو الذي سيظل ثابتاً. ومعنى هذا إنه إذا زاد المجموع ΣK_0 فإن المجموع $\Sigma\ m_0$ يجب أن ينقص. وهذا هو ما يحدث في واقع الأمر: تنشأ زيادة في طاقة الحركة للأجزاء نتيجة لعملية الإنشطار، ومن ثم يختفي قدر صغير عن كتلة السكون. مجموع كتل السكون $\Sigma\ m_0$ لا يظل ثابتاً خلال التفاعل الداخلي. ومن ثم فإن «كتلة السكون» ليس لها تلك الصفة الرئيسية التي تسبغها الميكانيكا التقليدية على «الكتلة». فلو كانت «كتلة السكون» هي «الكتلة»، فإن القانون الأساسي بشأن «بقاء الكتلة» لن يظل قائماً. وعلينا الآن أن نختار بين أن نتخلى عن هذا القانون أو أن نتخلى عن تعريف «الكتلة» بأنها «كتلة السكون». والاختيـار الأخير يبقى على نظريات في الفيزياء النيوتونية أكثر من تلك التي يبقى عليها الاختيار الأول ـ وتدل هذه الاعتبارات على أننا إذا قدمنا «الكتلة» على أنها الشيء الذي يتصف بأكبر عدد من صفات الكتلة النيوتونية القديمة، فإن هذا هو التبرير الوحيد الممكن لإدخال نصوص مثل «الكتلة ليست ثابتة» أو «الكتلة يمكن أن تختفي».

٩ ـ حواشي الفصل [٥]

١ ـ «Physics» لأرسطو، عن «The Works of Aristotle» ترجمة و. د. روس لندن: مطبوعات جامعة أكسفورد، ١٩٠٨ ـ ١٩٥٢) المجلد ٢.

٢ ـ ولد سان أوجستين (٣٥٤ـ ٤٣٠) وثنياً وعمد عام ٣٨٧. وقد نشرت له «اعترافات» حوالى عام ٤٠٠م، وهي سرد لقصة حياته يركز على تطوره العقلي والعاطفي. وقد ترجمت من أصلها اللاتيني إلى كل اللغات الحية، وأصبحت مقياساً في علم اللاهوت والسيكولوجيا، حيث قرئت في كل أرجاء العالم. وقد ترجم ادوارد ب. بوس الطبعة المقتبسة (مونت فيرنون: مطبوعات تيتي بول).

٣ ـ «Einstein, His life and Times» لفيليب فرانك (نيويورك مؤسسة الفريد أ. نوب: ١٩٤٧) الفصل ٨، قسم ٥، صفحة ١٧٨.

٤ ـ الفصل ٢، قسم ٦.

٥ ـ كتب هارولد هوفيليخ في مؤلفه «History of Modern Philosophy» (لندن: مكميليان وشركاؤه، ١٩٠٠): ليس الفضاء بالنسبة لنيوتن قالباً مفرغاً، ولكنه العضو يمثل وجود الله في كل مكان في الكون في وقت واحد، عالماً على الفور بأحوال الأشياء إنه «مركز الإحساس المتجانس واللامحدود».

٦ ـ ليون فوكولت (١٨١٩ ـ ١٨٦٨) فيزيائي فرنسي، «Compte Rendu de l'Academie» (١٨٥٠)، المجلد ٣٠.

٧ ـ اكتشف انعكاس ضوء النجوم بواسطة الزيغ السنوي عام ١٧٢٥ وفسره جيمس برادلي (١٦٩٣ ـ ١٧٦٢) عام ١٧٢٧.

٨ ـ في عام ١٨٧٩ الذي تصادف أن كان عام مولد أينشتاين.

٩ ـ ألبرت إبراهام ميكلسون (١٨٣٢ ـ ١٩٣١) فيزيائي أمريكي من مواليد المانيا، وقد تخرج في الأكاديمية البحرية الامريكية عام ١٨٧٣.

١٠ ـ هنريتش هرتز (١٨٥٧ ـ ١٨٩٤) فيزيائي الماني.

١١ ـ انظر الفصل ٤، الحاشية ٢٢.

١٢ ـ هندريك انتون لورنتز (١٨٥٣ ـ ١٩٢٨) فيزيائي هولندي.

١٣ ـ فلاديمير ايليتش أوليانوف لينين (١٨٧٠ ـ ١٩٢٤) «Materialism and Empirocriticism: Critical Observation on Reactionary Philosophy» (١٩٠٩).

١٤ ـ ألبرت أينشتاين (١٨٧٩ ـ ١٩٥٥) فيزيائي الماني، عاش وعمل في الولايات المتحدة منذ عام ١٩٣٣

حتى وفاته عام ١٩٥٥ .

١٥ ـ مثال نموذجي لمحاولات رسم جو فاصل واضح بين «العلوم الطبيعية» و«فلسفة الطبيعة» في كتاب «phi-losophy of Nature» من تأليف جاك مارتين (نيويورك : المكتبة الفلسفية ، ١٩٥١) .

١٦ ـ انظر الفصل ٤ ، الحاشية ٢٢ .

١٧ ـ انظر الحاشية ١٢ .

١٨ ـ ماكس إبراهام (١٨٧٥ ـ ١٩٢٢) فيزيائي الماني .

[٦]
هندسة رباعية الأبعاد وغير أوقليدية

١ ـ قصور الهندسة الأوقليدية

رأينا أنه يمكننا أن نستخلص من مبدأي أينشتاين[١] (الثبات والنسبية) استنتاجات بشأن الظواهر التي تقع في الأجسام الصلبة المتماسكة التي تتحرك بسرعة عالية. وإذا افترضنا أن هذين المبدأين متوافقان فيجب أن نفترض أيضاً أن الجسم الصلب الذي يتحرك بسرعة v في اتجاه معين بالنسبة إلى F سوف يتقلص طوله في اتجاه الحركة ولكن مقطعه في الاتجاه المتعامد على الحركة لن يطرأ عليه تغيير.

وبعد أن وضع أينشتاين نظريته، سرعان ما ظهر أن تلك النتائج لا تتفق وخواص الجسم الصلب التي كانت من قبل أمراً مسلماً به. ويمكن إيضاح ذلك إذا اعتبرنا قرصاً صلباً مستديراً يدور بسرعة زاوية ثابتة ω حول محوره المتعامد معه عند مركزه. فإذا كان نصف قطر القرص هو r فإن كل نقطة على محيط القرص تتحرك بسرعة $r\omega = v$. ولنعتبر الآن جزءاً من القرص محصوراً بين حافته ودائرة نصف قطرها r أصغر مكيلاً من r. هذا الجزء يكون على شكل حلقة دائرية. ولنعتبر الآن قطعة من هذه الحلقة تكون من الصغر بحيث يمكن اعتبارها تقريباً على شكل متوازي مستطيلات. حركة هذه القطعة أثناء الدوران، وفي خلال فترة زمنية

قصيرة تعتبر حركة القضيب في خط مستقيم تقريباً. وطبقاً لما جاء بـ(القسمين ٦، ٧) من (الفصل ٥)، فإن هـذا القضيب يتقلص بنسبة $\sqrt{1 - v^2/c^2}/1$ حيث، $v = \omega r.$ ومن ثم فإن محيط القرص سوف يتقلص كله بهذه النسبة.

ولنعتبر بعد ذلك جزءاً من القرص على شكل شريحة رفيعة حوالى نصف قطر القرص (أي يمثل شعاع العجلة). تتحرك هذه الشريحة أثناء دوران القرص كما لو كانت قضيباً يتحرك في اتجاه عمودي على طول القضيب. ومن ثم فإن طول القضيب لا يتأثر بالحركة. ويكون لدينا هنا حالة دائرة يصغر محيطها P نتيجة للحركة بينما يظل نصف قطرها r ثابتاً. وكلما كبر نصف القطر r كلما صغرت النسبة $\frac{P}{r}$. وعندما تكون r صغيرة جداً تكون السرعة $r\omega$ = صغيرة بالنسبة إلى c ويمكن اهمال التقلص .وهذا يعني أنه عندما تكون r صغيرة فإن النسبة $\frac{P}{r}$ تكون قيمتها 2π(حيث π=3.14159). وهذه النسبة ثابتة في الهندسة الأوقليدية أياً كانت قيمة r. وعلى هذا، فإن القرص المصنوع من مادة نصفها بأنها مادة صلبة متماسكة في الهندسة التقليدية، عندما يدور حول محوره لا يخضع لقوانين الهندسة الأوقليدية، وذلك إذا عرفنا الطول، كما هو معرف في الهندسة الأوقليدية، بطريقة انطباق المسطرة الصلبة.

اثيرت هذه الحالة فور عرض أينشتاين نظريته عن النسبية عام ١٩٠٥. واستنتج من ذلك أن نظرية النسبية كانت نظرية غير معقولة لأنها لا تتلاءم مع الهندسة المستوية، ولكن أينشتاين جادل بأنه يجب أن يستنتج من ذلك أن الهندسة الأوقليدية غير صالحة للتطبيق في حالة دوران الجسم الصلب. وبعبارة أخرى، ليست هناك «أجسام صلبة» تدور بالنسبة إلى النظام القصوري إذا كنا سنعرف الجسم الصلب بوصف أنه يخضع للهندسة الأوقليدية. ولدينا في مفهوم الجسم الصلب وضع مشابه لما لدينا في مفهوم «الكتلة». فليس هناك جسم له كل الصفات التي تسبغها الفيزياء التقليدية والهندسة التقليدية على «الجسم الصلب». وإذا أضفنا إلى بديهيات الهندسة الأوقليدية تعريفاً تشغيلياً «للخط المستقيم» فإن البديهيات تصبح عندئذ نصوصاً فيزيائية. ويمكننا أن نختار «حافة المكعب الصلب» كتعريف تشغيلي للخط المستقيم، حيث تعرف هذه الحافة من خلال القواعد التكنولوجية لصناعة المكعب. وعندئذ تكون البديهيات والنظريات

الهندسية نصوصاً بشأن سلوك الأجسام الصلبة. أما إذا لم ندخل القواعد التكنولوجية للصناعة، فإن بديهيات الهندسة يمكن اعتبارها تعريفات «للجسم الصلب». وعلى هذا، فإنه طبقاً للفيزياء والهندسة التقليديين، هناك أجسام تجريبية تعتبر «أجساماً صلبة» بناء على هذه التعريفات. وطبقاً لما ورد في بداية هذا القسم، فإن القرص الدوار لا يحقق هذه القوانين، ولا يمكن اعتباره جسماً صلباً. وهذا يعني، فضلاً عن ذلك، أنه ليس هناك جسم صلب ينطبق عليه التعريف القديم الذي يقضي بأن الجسم الصلب المتماسك يظل صلباً متماسكاً تحت كل الظروف، سواء في حالة السكون أو في حالة الحركة. ومعنى هذا أنه يجب أن يخضع للبديهيات الأوقليدية تحت كل الظروف.

وإذا افترضنا الآن صلاحية نظرية النسبية(٢)، فإن الجسم الصلب لا وجود له إلا في ظروف خاصة جداً؛ وعلى وجه التحديد، فإن الجسم يكون صلباً إذا كان في حالة سكون بالنسبة للنظام الأساسي. ويمكننا الآن، على أية حال أن نضع تعريفاً جديداً للجسم الصلب يكون مماثلاً للتعريف القديم إذا كان الجسم في حالة سكون، بينما يمكن استخدام بديهيات الهندسة غير الأوقليدية بدلاً من البديهيات الأوقليدية في حالة الجسم الدوار. وسوف يختلف الانحراف عن الهندسة الأوقليدية من نقطة إلى أخرى في الجسم الدوار. فسوف يكون الانحراف صغيراً بالقرب من محور الدوران، بينما يكون هذا الانحراف كبيراً عند النقط البعيدة عن المحور. ونواجه نفس الوضع مرة أخرى مثل ما في حالة «الطول» و«الكتلة». فالبديهيات الأوقليدية وقوانين الحركة في نظرية النسبية لا تتلاءم كل منهما مع الأخرى. وعلينا أن نختار: إما أن نحتفظ بالتعريف القديم للأجسام الصلبة وهي في هذه الحالة لا تنطبق على الأجسام الدوارة، وإما أن نبدأ من سلوك الأجسام الدوارة وفي هذه الحالة يجب أن نضع قواعد جديدة لسلوك الأجسام الصلبة، أي أن نضع هندسة غير أوقليدية.

وقد نتساءل مرة أخرى، أي التعريفين هو تعريف الجسم «الصلب حقيقية؟». وقد نقول: يكون الجسم «صلباً» إذا كانت له كل الصفات التي يخلعها التعريف التقليدي على «الجسم الصلب». وعندئذ علينا أن نقول إنه «غير صلب» عندما يكون متحركاً. ويمكننا أيضاً أن نقول عن الجسم إنه «صلب» إذا كان يحقق

هندسة أوقليدس عندما يكون ساكناً، ولكنه عندما يكون في حركة دوران يحقق نظريات الهندسة غير الأوقليدية التي تقتضيها نظرية النسبية. وفي هذه الحالة، يكون مثل هذا الجسم «صلباً» تحت كل الظروف.

٢ ـ نسبية العجلة والدوران

طبقاً لنظرية النسبية، لا تستطيع الحركة المنتظمة لحجرة بالنسبة إلى النظام القصوري أو الأساسي (F) أن تنتج ظواهر بالنسبة لهذه الحجرة يمكن منها أن نحسب السرعة v التي تتحرك بها الحجرة بالنسبة إلى النظام (F). ومن ناحية أخرى، وجدنا أن الحركة المعجلة أو الدورانية لمركبة (F́) يمكن معرفتها بمشاهدة بعض الظواهر بالنسبة إلى (F́). فيمكن على سبيل المثال أن نشاهد تأثير القوى الطاردة المركزية، وبندول فوكولت (قوة كوريولي)؛ وكما علمنا في (القسم ١)، باختبار صلاحية الهندسة الأوقليدية، يمكن أن نعين السرعة الزاوية للقرص. ومن الواضح أننا يجب أن نقيس النسبة $\frac{\text{المحيط}}{\text{نصف القطر}}$ أ، $(\frac{P}{r})$ يتزايد تزايداً مضطرداً مع السرعة الزاوية.

ومنذ العدول عن نظرية الوسط شبه المادي (الأثير) فإن الدوران بالنسبة إلى F لم يكن يعني شيئاً سوى الدوران بالنسبة للفراغ. وطبقاً للفكرة الأساسية للنسبية، فإن الحركة المنتظمة للمركبة بالنسبة للفراغ لا يمكن أن يكون لها تأثير على قوانين الفيزياء بالنسبة إلى هذا الفضاء، ولكن يبدو أن المركبة المتحركة أو الدوارة بالنسبة للفضاء يكون لحركتها تأثير على قوانين الفيزياء في هذه المركبة. وقد كان ذلك يبدو لنيوتن أمراً غير مستحيل. فقد اعتبر نيوتن أن الفضاء شيء كوني، يماثل مركز الإحساس الإلٰهي، ورأى نيوتن أنه من المعقول جداً أن العجلة بالنسبة لهذا الشيء الهام لا بد أن تكون لها نتائج منظورة. ولكن العلماء الذين كانوا يفضلون أن يحرموا الحوار الميتافيزيائي واللاهوتي من الفيزياء لم يكونوا ليقبلوا هذه الطريقة في تفسير تأثيرات الدوران والعجلة. وفي عام ١٨٧٢ نشر إرنست ماسن[٣] تحليلاً هاماً للميكانيكا النيوتونية أكد فيه على أن تجاربنا في القوة الطاردة المركزية وقوة كوريولي الناشئتين عن «دوران الأرض» تثبت في واقع الأمر أن هذه التأثيرات يمكن حسابها بواسطة السرعة الزاوية w للأرض بالنسبة لنظام النجوم الثابتة (درب

التبانة) ولا تحتم علينا أن ندخل مفهوم الدوران بالنسبة للفراغ أو «الفضاء المطلق».

وباختصار، اقترح ماسن إعادة صياغة قوانين نيوتن مع إحلال نظام مجموعة النجوم الثابتة محل «الفضاء المطلق» أو «مركز الإحساس الإلهي»(٤)، معتبرين أن هذا النظام للإسناد هو نظام صلب متماسك. وعندئذ سوف ينص قانون القصور الذاتي على أن الجسم الذي لا تؤثر عليه قوة سوف يتحرك في خط مستقيم بسرعة ثابتة بالنسبة للنجوم الثابتة. ومن ناحية أخرى، إذا كانت المركبة في حالة دوران (مثل الأرض) فإن الدوران بالنسبة للنجوم الثابتة سوف تنشأ عنه قوة طرد مركزي وقوة كوريولي بالنسبة للمركبة. ودوران مستوى بندول فوكولت سوف يعزى، على سبيل المثال، إلى دوران النجوم الثابتة حول الأرض. وبما أنه طبقاً لنظرية نيوتن بشأن الحركة الكوكبية يمكن إهمال القوى التي تؤثر بها النجوم الثابتة على أرضنا، فإن هذه القوى فضلا عن ذلك ليست في اتجاه القوة الطاردة المركزية. ويتبلور اقتراح ماسن في الفرض التالي: تؤثر النجوم الثابتة على الأجسام المادية بأرضنا بقوى لا يمكن تفسيرها بقانون نيوتن للجاذبية. كان هذا الاقتراح من ماسن يبدو جريئاً في حينه، بل كان يبدو اقتراحاً سخيفاً. وقد رفض هذا الاقتراح رفضاً شديداً من قبل الفيزيائي الألماني الكبير ماكس بلانك(٥) مبدع أكبر نظرية ثورية في القرن العشرين. حبذ بلانك نظرية النسبية لأينشتاين تحبيذاً أكيداً، لكنه اعتبر نظرية ماسن التي تقضي بأن دوران بندول فوكولت ناشىء عن تأثير النجوم الثابتة، اعتبرها رأياً خيالياً مستمداً من نظرية المعرفة لماسن. وقد اعتبر بلانك نظرية ماسن بشأن بندول فوكولت على أنها برهان قاطع على سخف فلسفته(٦).

ومع ذلك، بدأ أينشتاين(٧) تحليلاً جديداً للميكانيكا النيوتونية، أدت في نهاية الأمر إلى تبرير ما أقدم عليه ماسن من إعادة صياغة الميكانيكا النيوتونية. فبينما اعتبرت الآراء التقليدية مجال الجاذبية مجرد واحد من مجالات القوى التي تنطبق عليها قوانين نيوتن، بين أينشتاين أن الحركة في مجال الجاذبية تختلف في كثير من الوجوه عن الحركة في المجال الكهرومغنطيسي وغيره من المجالات، كما بين على وجه خاص أن الحركة في مجال الجاذبية تماثل الحركة بالنسبة للمركبات المعجلة أو الدوارة. بدأ أينشتاين من مجال الجاذبية «المتجانس» حيث تكون للقوى نفس

الاتجاه ونفس الشدة في أي موضع بالمجال. وهذا هو الحال تقريباً في كل مختبر أو حجرة معيشة. وقد كان من المعروف، منذ جاليليو، أن الكتلة m تتحرك إلى أسفل في أي مكان بنفس العجلة g، أياً كانت قيمة الكتلة m. وينتج من المعادلة العامة لنيوتن $a=\frac{F}{m}$ أن العجلة تتناسب عكسياً مع مقدار الكتلة. فإذا كانت العجلة لا تعتمد على الكتلة فلا بد أن نعتبر أن القوة F تتناسب طردياً مع الكتلة: ومعنى هذا أن $F=mg$، ومن ثم فإن $a=\frac{F}{m}=\frac{mg}{m}=g$ والقوة F في أي مجال آخر تتعين بواسطة المجال ولا تعتمد على الكتلة التي تؤثر عليها، أما في مجال الجاذبية فإن القوة تتناسب طردياً مع الكتلة m، ولذلك تنشأ عنها عجلة a لا تعتمد على الكتلة.

ولذلك فإنه في حالة مجال الجاذبية المتجانس يكون قانون الحركة قانوناً هندسياً بحتاً. فيمكننا أن نتنبأ بالشكل الهندسي لمسار قذيفة من الظروف الابتدائية دون أن نعرف الكتلة m، أما في المجال الكهرومغنطيسي مثلاً، فإن قانون الحركة يكون قانوناً «ديناميكياً»: فلا يمكننا أن نتنبأ بالشكل الهندسي للمسار دون أن نعرف الكتلة التي يؤثر المجال عليها. والصفة المميزة للحركة في مجال الجاذبية هي أيضاً الصفة المميزة للحركة بالنسبة لمركبة معجلة أو دوارة (F́). فإذا كانت المركبة نظاماً قصورياً، وليست هناك قوة تؤثر على الكتلة m فإننا نستطيع أن نتنبأ بالمسار؛ سيكون هذا المسار خطاً مستقيماً أياً كانت قيمة الكتلة. وإذا كانت المركبة تتحرك بعجلة ثابتة بالنسبة للنظام القصوري فسيكون المسار قطبياً مكافئاً أياً كانت قيمة الكتلة. وإذا كانت المركبة تتحرك حركة دورانية حول محورها فإن الكتلة سوف تقطع مسارات تحددها «قوى الطرد المركزي». وفي كل الأحوال، إذا لم توجد قوة تؤثر على الكتلة فإن الشكل الهندسي للمسار يتحدد بواسطة عجلة المركبة، بينما لا تكون للكتلة علاقة بالمسار. ويمكننا أن نرى الآن أن سلوك الكتلة بالنسبة للمركبة المعجلة (في حالة عدم وجود قوة) يماثل تماماً سلوك الكتلة بالنسبة لنظام قصوري تحت تأثير مجال الجاذبية. كانت هذه الحالات الخاصة، بالنسبة لأينشتاين، هي الأساس الذي أقام عليه مبدأه العام في التكافؤ. وينص هذا المبدأ على أن كل حركة بالنسبة لمركبة معجلة (بأوسع معاني الكلمة) يمكن تفسيرها أيضاً على أنها حركة بالنسبة لنظام قصوري تحت تأثير مجال جاذبية.

ويربط هذا المبدأ بين مشكلتين: النظرية العامة للحركة في مجال جاذبية، والنظرية العامة للحركة بالنسبة للمركبة (F́) وليست نظاماً قصورياً. والنظرية التي تقدم الحل لهذين المشكلين تسمى النظرية **العامة للنسبية**(٨)، وهي أيضاً النظرية العامة للجاذبية. ففي النظرية «المحدودة» للنسبية لا يمكن حساب سرعة المركبة من مشاهدة الظواهر الفيزيائية بالنسبة لهذه المركبة. وفي النظرية «العامة» للنسبية لا يمكن أيضاً أن نحسب السرعة المعجلة أو الدورانية. ذلك لأنه، طبقاً لمبدأ التكافؤ، فإن أي ظاهرة يمكن أن تعزى إلى عجلة المركبة يمكن أن تعزى أيضاً إلى مجال جاذبية. فإذا شاهدنا إحدى ظواهر قوة الطرد المركزي، ولتكن مثلاً عملية تسطيح (استواء سطح) جسم مائع، فيمكننا أن نقول إن الجسم يدور بالنسبة للنظام القصوري، كما يمكننا على قدم المساواة أن نقول إن الجسم في حالة سكون في النظام القصوري وإن سطحه يستوي بتأثير قوة الجاذبية للكرة الدوارة التي تضم النجوم الثابتة.

وطبقاً للميكانيكا النيوتونية وللنظرية «المحدودة» للنسبية لأينشتاين، فإن سرعة المركبة (F́) بالنسبة إلى (F) لا تؤثر على الظواهر الميكانيكية والضوئية بالنسبة للمركبة (F́). ويصاغ هذا الوضع عادة على النحو التالي: «ليست هناك سرعة مطلقة» أو «كل السرعات نسبية». وطبقاً للنظرية العامة للنسبية لأينشتاين لا يمكن حساب دوران أو عجلة مركبة (F́) من الظواهر الحادثة بالنسبة للمركبة (F́). ويصاغ هذا الوضع أيضاً على النحو التالي: «ليست هناك عجلة مطلقة أو دوران مطلق». ويبدو من هذا الأسلوب في التعبير أن نظرية النسبية تنكر وجود بعض «الكيانات» وتنتقص من كوننا بعضاً من ثرائه. وتجعل نصوص العلوم الفيزيائية أكثر غموضاً وأقل مباشرة. وفي الواقع أن نصاً مثل «ليس هناك دوران مطلق» تعني تماماً أنه ليست هناك فرصة لاستخدام التعبير «دوران مطلق» في معالجة يقصد بها تقديم صياغة بسيطة لقوانين الفيزياء. وهذه النقطة ذات أهمية خاصة في فهم المعالجة «الفلسفية». وكثيراً ما يقرأ المرء نصوصاً مثل «هناك روح» أو «ليست هناك مادة»؛ أو «ليست هناك إرادة حرة». وإذا عرفنا المعنى الفيزيائي الواقعي للتعبير «ليست هناك سرعة مطلقة» أو «ليس هناك دوران مطلق» من خلال فهم نظرية النسبية، فسوف نعرف أيضاً كيف نفهم معنى النصوص الفلسفية بشأن المادة

والروح. وقد قام جلبرت رايل[٩] أحد فلاسفة أكسفورد بدراسة معنى النصوص بشأن العقل والروح وعرض هذا المعنى عرضاً واضحاً.

٣ - انحناء الفضاء

علمنا في (القسم ١) أن القرص الصلب عندما يدور حول محوره لا يخضع للهندسة الأوقليدية؛ وكلما زادت السرعة الزاوية كلما زاد الانحراف عن الهندسة الأوقليدية. وهذا يعني[١٠] أنه كلما زادت السرعة الزاوية، كلما صغرت مساحة وحدة المثلثات. وفضلا عن ذلك، إذا كانت السرعة الزاوية معلومة فإن الانحراف يتزايد متناسباً مع السرعة الخطية $v = r\omega$. وهذا يعني أن الانحرافات عن الهندسة الأوقليدية في مجال القرص (الذي يدور بسرعة زاوية ω) تكون أكبر كلما بعدنا عن محور الدوران. وهذا يعني مرة أخرى أن مساحة «وحدة المثلثات» تعتمد على بعدها عن محور الدوران. فبينما نرى في الهندسة غير الأوقليدية التي ناقشناها في (الفصل ٣ قسم ٦) أن مساحة وحدة المثلثات لا تتغير عند أي موضع في نفس المستوى، نرى في حالتنا هذه أن هذه المساحة تتغير بتغير الموضع في المستوى الواحد. ويقاس الانحراف عن الهندسة الأوقليدية بالفرق بين مجموع زوايا المثلث وبين زاويتين قائمتين. فإذا كانت الزوايا هي α, β, γ، فإن «الخلل» $\triangle$ يعرف بين العلاقة $\triangle = 180^\circ - (\alpha + \beta + \gamma)$. وبما أن الخلل يعتمد على مساحة المثلث، فإننا نسمي «انحناء الفضاء» (K) على أنه يساوي $K = \frac{\triangle}{A}$ حيث A هي مساحة المثلث ذي الخلل $\triangle$. ويعتمد هذا القياس للانحراف عن الهندسة الأوقليدية فقط على البعد عن محور الدوران وليس على المساحة.

علمنا سابقاً أن الهندسة داخل الجسم الصلب تصبح هندسة غير أوقليدية عندما يكون هذا الجسم متحركاً حركة دورانية. ولكننا علمنا من (القسم ٢) أن أي تأثير يحدثه دوران الجسم يمكن أن يتولد أيضاً في الجسم بتأثير مجال الجاذبية عندما لا يكون الجسم في حالة دوران. وناقشنا مثالاً على ذلك ظواهر الطرد المركزي على الأرض، وهي الظواهر التي توصف عادة بأنها من تأثير دوران الأرض بالنسبة للنجوم الثابتة. وطبقاً لمبدأ التكافؤ لأينشتاين يمكن أن تعتبر هذه الظواهر من تأثير دوران كتل حول أرض ثابتة. وبنفس الطريقة فإن الانحراف عن الهندسة

الأوقليدية في قرص دوار يمكن تفسيره بافتراض أن القرص في حالة سكون لكن كتل كبيرة تدور حول القرص مولدة مجالاً للجاذبية. وعلى هذا فإن الانحرافات عن الهندسة الأوقليدية هي بتأثير مجال الجاذبية هذا. ويكون انحناء الفضاء كبيراً في المواضع القريبة من الكتل الكبيرة حيث يكون مجال الجاذبية شديداً؛ وتكون وحدة المثلثات صغيرة في هذه المواضع.

يجب أن نتجنب سوء الفهم الذي نشأ بشأن تأثير الجاذبية على هندسة الفضاء والذي نبتت جذوره في فلسفة منفصلة عن العلم. ويكمن أصل الصعوبة الأولى في اصطلاح «انحناء الفضاء». من المعروف أن «السطح» يمكن أن يكون «منحنياً في الفضاء»، أي أن هذا السطح يمكن أن ينحرف عن السطح المستوي؛ لكن كيف يكون الفضاء الثلاثي الأبعاد منحنياً؟ وقد انبثقت هذه الصعوبة من المعنى الغامض لكلمة «الانحناء». وإذا درسنا سطح كرة، يمكننا قياس انحناءها بطريقتين. يمكن أن نقيس هذا الانحناء بقياس انحراف سطح الكرة عن مستوى مماس لهذا السطح، ولكننا يمكننا أن نعتبر مثلثاً مرسوماً على سطح الكرة ونقيس الاختلاف بين مجموع زوايا هذا المثلث $(\alpha + \beta + \gamma)$ وبين زاويتين قائمتين. هذا المجموع يكون على سطح الكرة أكبر من زاويتين قائمتين. وإذا كانت مساحة هذا المثلث A فإن انحناء السطح يساوي $(\alpha + \beta + \gamma) - 180^{\circ}$ ويمكننا من ثم أن نقيس هذا الانحناء بطريقتين. فإذا اعتبرنا مثلثاً مادياً (يتكون من أشعة ضوء أو من قضبان صلبة) في الفضاء، فإنه يمكننا قياس الخلل أو الزيادة في أماكن مختلفة في الفضاء وبذلك نحصل على «انحناء» الفضاء. إلا أنه ليس من الممكن قياس هذا الانحناء بطريقة مباشرة كما نفعل في السطوح المنحنية. يستطيع المرء أن يقارن بين سطح منحن وآخر مستو لأن كلاً منهما موضوع بنفس المكان الثلاثي للأبعاد. ويستطيع بهذه الطريقة مشاهدة انحراف السطح المنحني عن السطح المستوي وأن يسمي هذا الانحراف «إنحناءً» ولكنه لا يستطيع بجانب «فضائنا المنحني الثلاثي الأبعاد» أن يشاهد «فضاء مستوياً ثلاثي الأبعاد» وكل منهما موضوع في نفس «الفضاء الرباعي الأبعاد» وأن يعين انحراف الفضاء المنحني عن الفضاء المستوي. ويمكن للمرء، مع ذلك أن ينشىء سطوحاً ومثلثات على هذه السطوح في «الفضاء المنحني الثلاثي الأبعاد»، ثم يمكنه بعد ذلك قياس مجموع الزوايا في هذه المثلثات

وأن يرى ما إذا كان هذا المجموع هو ١٨٠° وأن هذا المجموع لا يتوقف على مساحة المثلث. وإذا كان هناك اختلاف بين مجموع ($\alpha + \beta + \gamma$) وبين ١٨٠°، أي أن هناك «خللاً» أو «زيادة» حتى لو كانت السطوح «مستوية» على قدر الإمكان، فيمكننا عندئذ أن نقول إن «فضاءنا» «منحن». وعلى ذلك، فإن انحناء الفضاء الثلاثي الأبعاد يعني «الخلل» أو «الزيادة» في المثلثات، أو بعبارة أخرى، يعني الانحراف عن الهندسة الأوقليدية. ويشاهد «الانحناء» ويقاس بطريقة تستخدم أيضاً لقياس انحناء سطح كروي من فضائنا العادي. غير أن النوع الثاني من القياس (أي الانحراف عن السطح المستوي) لا يمكن تطبيقه على «فضاء منحن». ومرة أخرى ينشأ أمامنا وضع يتمثل في أنه بعد «اكتشاف، أن الهندسة الأوقليدية لا تصلح للتطبيق في مجال الجاذبية، فإننا نضع مصطلح «إنحناء الفضاء» لكي نصف مجال الجاذبية بطريقة مناسبة. ولهذا «الانحناء» كما علمنا، معنى تشغيلي محدد. «فانحناء الفضاء» يمكن قياسه بأنواع مختلفة من العمليات تؤدي جميعها إلى نفس النتيجة، إلا أن بعضاً من هذه التعريفات فقط هو الذي يماثل التعريف التشغيلي للسطوح المنحنية.

سوف يكون تضليلاً كبيراً إذا قلنا إن «انحناء الفضاء» يضيف إلى الفيزياء عنصراً لا يمكن وصفه بالقياسات المطبقة على الأجسام العادية المصنوعة من الحديد أو الخشب أو الحجر. وقد كانت هناك محاولات لتفسير إدخال انحناء الفضاءات على أنه إدخال عناصر روحية إلى الفيزياء.

٤ ـ هل «الكون» رباعي الأبعاد حقاً؟»

إذا التزمنا بالنظام «الكلاسيكي» للفيزياء المبني على الميكانيكا النيوتونية فإننا نستطيع أن نصف كل الأشياء التي تحدث في الكون على أنها «أحداث نقطية». وابتداء من النظام الكارتيزي للاسناد (F)، فإن كل حدث يقع عند نقطة معينة (x, y, z) عند زمن معين t تحدده ساعة موجودة عند (x, y, z). هذا «الحدث النقطي» له «إحداثيات حدث» هي (x, y, z, t) بالنسبة إلى (F). وتقوم النظرية بشرح الحركة من خلال التعبير عن (x, y, z) كدلائل للزمن t؛ وهذا يعني حركة في منحن يقع في الفضاء العادي الثلاثي الأبعاد. وتعطي كل نقطة (x, y, z) قيمة معينة

للزمن t. ويمكننا أيضاً أن نفسر المعادلات $x=x(t)$، $y=y(t)$، $z=z(t)$ على أنها منحن يقع في الفضاء الرباعي الأبعاد (x, y, z, t). والحركة في منحن يقع في الفضاء الثلاثي الأبعاد تكافيء من الناحية الرياضية منحنياً ستاتيكياً يقع في الفضاء الرباعي الأبعاد. وبهذا المعنى ذهب عالم الرياضيات الفرنسي الكبير لاجرانج[١١] إلى تسمية الميكانيكا بأنها «هندسة في أربعة أبعاد». فكل نقطة كتلية تعبر مساراً في فضائنا الثلاثي الأبعاد (x, y, z). وعند لحظة معينة $t=t_0$ تشغل الكتل جزءاً معيناً من فضائنا الثلاثي الأبعاد، ثم تشغل أجزاء أخرى من هذا الفضاء عند لحظة أخرى.

وقد اقترحت طريقة أخرى لوصف نفس ما حدث. إننا نصور كل «حدث» بنقطة في الفضاء الرباعي الأبعاد (x, y, z, t). وهذا أمر ممكن لأن كل حدث يتصف بقيم أربع تعطى لكل من x, y, z, t. عندئذ نرى أن كل موضع للكتلة النقطية عند نقطة x, y, z وعند الزمن t يمثل «حدثاً». ويمكننا أن نحاول إثبات أن الوجود المتواصل بكل أحداثه كان قائماً منذ الأزل. فحياتنا ليست سوى تغير في المكان (تغير واقعي للمستوى $t=const$) الواقع في الفضاء الرباعي الأبعاد، والذي سنلتقي عنده بالأحداث التي كانت بانتظارنا. ويمكننا أن نقارن هذا الوضع بحالة فيلم سينمائي لا يتحرك. فبدلاً من أن يتحرك الفيلم بالنسبة للمشاهد، يتحرك المشاهد بالنسبة للفيلم فيرى نفس التعبيرات كما لو كان الفيلم هو الذي يتحرك كالمعتاد.

ومن الأمور التي اقترحت أننا نستطيع أن نتحدث عن دنيانا مؤكدين أن الكون «الحقيقي» هو كون رباعي الأبعاد موجود الآن وفي هذه اللحظة بعينها. ومعنى هذا أن المستقبل «موجود» الآن، وكل ما نفعله عبر حياتنا هو أن نتحرك خلال الوجود المتواصل الرباعي الأبعاد وأن نطلع تدريجياً على قطاعاته المستعرضة الثلاثية الأبعاد. ومن الواضح أن كل قطاع مستعرض للرباعي الأبعاد إنما يقابل لحظة من الزمن t. والكلام على هذا النحو يشوبه عيب واضح: فإذا كانت «الآن» تعني $t=t_0$، فإن حدثاً يقع في المستقبل عند الزمن $t=t_1$ يحدد قطاعاً مستعرضاً مختلفاً للوجود المتواصل الرباعي الأبعاد. وإذا قلنا بأن الوجود المتواصل الرباعي

الأبعاد «موجود الآن» فان ذلك يعني أن كل القطاعات المستعرضة «موجودة الآن»، أو بعبارة أخرى، أن القطاع المستعرض الذي تحدده $t=t_0$ مطابق للقطاع الذي تحدده $t=t_1$، وإلا فلا يمكن أن يكون موجوداً «الآن» وإذا أجزنا مثل هذه الطريقة المشوشة في الحديث فإن التأكيد على أن «الوجود المتواصل الزماني المكاني الرباعي الأبعاد» كان دائماً موجوداً وأننا مجرد عابرين خلال هذا الوجود، إنما لا يعني أكثر من النص القائل بأن الوجود المتواصل الثلاثي الأبعاد يتغير مع الزمن.

عندما قدم أينشتاين نظرية النسبية عام ١٩٠٥، سرغان ما اتضح أن مبادىء هذه النظرية وقضاياها يمكن صياغتها على نحو مناسب باستخدام الوجود المتواصل الزماني المكاني الرباعي الأبعاد، أي دنيا الأحداث. وقد لاحظ هرمان منكوسكي(١٢) ذلك الأمر وعرضه عام ١٩٠٨. ولنعتبر حادثين (x_1, y_1, z_1, t_1)، (x_2, y_2, z_2, t_2). ونعني (x_1, y_1, z_1)، (x_2, y_2, z_2) إحداثيات بالنسبة للنظام (F) وهذه الإحداثيات تقاس بواسطة مساطر ساكنة في النظام (F). وبنفس الطريقة، فإن t_1، t_2 هما مسافتان زمنيتان مقاستان بواسطة ساعتين في حالة سكون في النظام (F)، لكن ذلك يعني أن الحادثين نفسيهما مرتبطان على نحو ما بالنظام (F). قد يكون الحادثان ومضتي برق في الفضاء تتطابقان مثلاً عند الزمن t_1 مع النقطة x_1, y_1, z_1 في النظام (F). المسافة الفضائية S التي تفصل بين الحدثين هي:

$$S=\sqrt{(x_2-x_1)^2 + (y_2-y_1)^2 + (z_2-z_1)^2}$$

أما المسافة الزمنية فهي $(T=t_2-t_1)$. فما هو التعريف التشغيلي للمقدار (t_2-t_1)؟ الرمزان (t_2-t_1) يشيران إلى الفرق بين قراءتي ساعتين متماثلتين موجودتين في حالة سكون في النظام (F). ويمكن تدقيقهما بوصفهما أولاً عند المركز O للنظام (F) للتأكد من أنهما تعملان بنفس المعدل، ولكن كيف وضعتا عند النقطتين (x_1, y_1, z_1) و(x_2, y_2, z_2) على الترتيب؟ ونحن نعلم من (الفصل ٥ قسم ٧) بأن الساعات تغير معدل قراءتها طبقاً للسرعة التي تتحرك بها الساعات. ولذلك فنحن نحاول أن نأتي بالساعتين إلى النقطتين (x_1, y_1, z_1)، (x_2, y_2, z_2) وذلك بنقلهما في بطء شديد بسرعة تكاد تكون صفراً. إذا استخدمنا مثل هاتين الساعتين فإن قوانين الفيزياء تصبح بسيطة وعملية. فالجسم عندما لا تؤثر عليه قوة يتحرك من

نقطة P_1 إلى نقطة P_2 بسرعة ثابتة، وشعاع الضوء المنبعث من P_1 ينتشر إلى P_2 بسرعة ثابتة c، . . . إلخ. . إلخ . . . ونقول عندئذ إن هاتين الساعتين متزامنتان. وفي وصف الطريقة التي نجعل بها من الساعتين ساعتين متزامنتين تحدثنا عن ساعتين تم نقلهما بسرعة متناهية البطء بالنسبة لنظام الإسناد (F). ولذلك فإن تعريف «التزامن» يصبح غير مبهم فقط إذا حددناه بقولنا «إنهما مترافقتان بالنسبة للنظام (F)».

إذا اعتبرنا الآن نظام مركبة (F') يتحرك بسرعة q بالنسبة إلى (F) فيمكننا أن نصف نفس الحدث بالنسبة إلى (F'). ومعنى هذا أن المساطر والساعات في حالة سكون في النظام (F'). ونرمز إلى إحداثيات المكان والزمان لنفس الحدثين بالنسبة إلى (F') بالرموز (x'_1, y'_1, z'_1, t'_1)، (x'_2, y'_2, z'_2, t'_2). ونرمز أيضاً إلى المسافة $S'=\sqrt{(x'_2-x'_1)^2+(y'_2-y'_1)^2+(z'_2-z'_1)^2}$ على أنها المسافة المكانية، أما المسافة الزمنية بين الحدثين فهي $T'=(t'_2-t'_1)$. طبقاً لمبدأي أينشتاين لنظرية النسبية، يتحرك شعاع الضوء بسرعة c بالنسبة إلى (F) وكذلك بالنسبة إلى (F'). ولذلك فإن $S/T=c$ وكذلك $S'/T'=c$. ومعنى هذا أنه إذا كانت $(S^2-c^2T^2=0)$، فإننا نعلم أيضاً أن $(S'^2-cT'^2)=0$. ومن السهل أن نبين أن هذا لا يكون إلا إذا كانت $(S'^2-c^2T'^2)=(S^2-c^2T^2)$. ويمكننا أن نفرز أزواجاً من الأحداث بحيث لا تكون بينها، بالنسبة إلى (F) مسافة مكانية $(S=0)$ ولا تكون بينها مسافة زمنية $(T=0)$. ومن الواضح أن المسافة المكانية (S) بالنسبة إلى (F) لا تساوي المسافة المكانية (S') بالنسبة إلى (F') وذلك بسبب تأثير الحركة على أطوال المساطر وعلى معدل قراءة الساعات. وبنفس الطريقة نجد أن T تختلف عن T'. وإذا افترضنا أن S، T مختلفتان فإن الحدثين تكون لهما مسافة زمنية ومكانية بالنسبة إلى (F)، ولكننا يمكن أن نختار السرعة q لنظام المركبة (F') بحيث تكون S' أو T' صفراً. ففي الحالة الأولى يكون لدينا $(S^2-c^2T^2)=-c^2T'^2$. وفي هذه الحالة يقع الحدثان عند نفس النقطة في (F') عند لحظتين زمنيتين مختلفتين $t'_2-t'_1=T'$. ويمكن ايجاد مثل هذه المركبة إذا كانت $(S^2-c^2T^2)<0$ أي $S<cT$. أما إذا كانت $(S^2-c^2T^2)>0$ فإنه يمكن إيجاد مركبة (F') بحيث تكون $T'=0$ وتكون $(S'^2-c^2T'^2)=S'^2$. وفي هذه الحالة يقع الحدثان بالنسبة إلى (F') عند نفس اللحظة الزمنية $(t'_2=t'_1)$ على مسافة (S') بين كل

من الحدثين ومعنى هذا أنه إذا وقع حدثان في نفس اللحظة (حدثان متزامنان عند $t'_1=t'_2$) بالنسبة إلى (F') فسوف تفصل بينهما مسافة زمنية بالنسبة إلى (F) ($t_2>t_1$).

ويمكننا أن نصف هذه الحقائق وصفاً مناسباً باستخدام الوجود المتواصل المكاني الزماني الرباعي الأبعاد. فإذا كان لدينا حدثان واعتبرناهما نقطتين في الوجود المتواصل الرباعي الأبعاد، فيمكننا أن نتحدث عن هذين الحدثين بطريقة مشابهة لحديثنا عن نقطتين في الفضاء المعتاد الثلاثي الأبعاد. ولنتكلم مثلاً عن نقطتين تقعان في المستوى (x, y)، وأن الاحداثيين العموديين للنقطة الأولى هما x_1, y_1 وللنقطة الثانية x_2, y_2. فإذا قلنا إن النقطتين لهما نفس الاحداثي السيني ($x_1=x_2$) فإن ذلك لا ينبئنا بشيء عن النقطتين. ويمكننا أن نختار نظاماً آخر للإحداثيات (بأن ندير المستوى الأصلي) لتكون الإحداثيات بالنسبة للنظام الجديد هي x'_1, y'_1, x'_2, y'_2 فنجد أن x'_2 تختلف عن x'_1. وإذا قلنا أن $x'_1=x'_2$ فإن ذلك ينبئنا عن شيء بشأن علاقة النقطتين بالنسبة لنظام إحداثيات معين، ولكنه لا ينبئنا بشيء عن النقطتين ذاتهما. وبنفس الطريقة، إذا كان هناك حدثان (نقطتان في الفضاء الرباعي الأبعاد) لا تفصل بينهما مسافة زمنية [$T'=(t'_2-t'_1)=0$] بالنسبة إلى (F') فهذا هو مجرد نص بشأن علاقة الحدثين بالنسبة إلى (F')، ولكنه لا ينبئنا بشيء عن الحدثين ذاتهما، وكما فعلنا للنقطتين في مستوى، يمكننا إدخال نظام إسناد (F) بحيث تكون $t_2>t_1$.

ومن ثم فإنه باستخدام طريقة الكلام الرباعية الأبعاد يمكننا أن نصف حقائق الفيزياء النسبية بطريقة أكثر بساطة وجمالاً مما لو فصلنا الزمن وقدمنا فضاء ثلاثي الأبعاد. لقد وجدنا أن المسافة المكانية S والمسافة الزمنية T لحدثين تعتمد على نظام الإسناد. ويمكن لأي منهما أن تختفي إذا اخترنا نظاماً معيناً للإسناد. والكمية ($S^2-c^2T^2$) التي تجمع بين المسافتين لا يتغير مقدارها بالنسبة لكل نظم المركبات (F')، أياً كان مقدار q. وبما أن وصف الأحداث بلغة (الفضاء الرباعي الأبعاد) أنسب من وصفها بلغة الفضاء الثلاثي الأبعاد، فإننا نميل إلى القول بأن «الفضاء الرباعي الأبعاد» أقرب إلى الحقيقة من الفضاء الثلاثي الأبعاد وبينما كل من S، T لا وجود لهما بدون نظام الإسناد فإن المقدار ($S^2-c^2T^2$) «موجود»

على نحو مستقل بذاته. وقد كتب هـ. منكوسكي عام ١٩٠٨ يقول إن الذي «يوجد حقاً» هو تركيبة من الزمان والمكان أي الوجود المتواصل الرباعي الأبعاد، أما إذا فصلنا الزمان عن المكان فإنهما يصبحان شيئين «ظاهريين». لكن حتى إذا قلنا إن الوجود المتواصل المكاني الزماني الرباعي الأبعاد أقرب إلى الحقيقة من الزمان والمكان منفصلين فإن هذا لا يعني أكثر أو أقل من القول بأن هذه الصياغة هي عرض عملي ومناسب لنظرية النسبية.

وما من شك في أننا إذا اعتبرنا أن الوجود المتواصل المكاني الزماني الرباعي الأبعاد هو «حقيقة» فإن ذلك يشجعنا على تبني رأي لاجرانج القائل بأن الميكانيكا هي هندسة رباعية الأبعاد، وأن نقول إن الوجود المتواصل الرباعي الأبعاد «موجود الآن»، ومن ثم فإن كل أحداث المستقبل موجودة الآن، وأن «المستقبل» يتألف من تحركنا خلال الوجود المتواصل المكاني الزماني الرباعي الأبعاد. ولكننا، مثلما كان الحال قبل صياغة منكوسكي لنظرية النسبية، يجب علينا أيضاً أن نعترف بأن استخدام كلمة «الآن» في الصياغة هو أقرب إلى التضليل. فعندما نقول «الآن» فإننا نعني قطاعاً مستعرضاً للوجود المتواصل المكاني الزماني الرباعي الأبعاد حيث $t=t_0$. ومن ثم فإن أي لحظة مستقبلية، يكون فيها الزمن $t>t_0$ يمكن أن توجد الآن، سوف تكون متناقضة تناقضاً ذاتياً.

وكثيراً ما استخدم الوجود المتواصل المكاني الزماني الرباعي الأبعاد لإثبات أن «المستقبل» شيء «مقدر» (قضاء وقدر أي مقرر سلفاً). فإذا وقع حدث E بالنسبة إلى (F) عند الزمن $t=t_0$، فإن نفس الحدث يمكن أن يقع بالنسبة إلى (F́) عند زمن t سابق على t أي $t<t_0$. وقد وصف هذا الوضع على النحو التالي: لم يكن أحد ليعلم أثناء فترة قصيرة قبل t_0 عما إذا كان الحدث E سيقع أم لا؛ إنه في حقيقة الأمر قد حدث في النظام F́ وعلى هذا فقد قدر «سلفاً» أنه يحدث فيما بعد في النظام F وفي الواقع أن كل شيء يحدث في المستقبل قد حدث فعلاً ومن ثم فليس من الممكن أن يحول شيء دون وقوعه. وسيكون هذا مذهباً «للمقرر سلفاً» أو «للقضاء والقدر» في أشد أشكاله الجذرية. ومع ذلك، فإن الحدث E يقع مرة واحدة في حقيقة الأمر، والوضع الحقيقي للأمور هو كما يلي: ينطبق هذا الحدث

على نقطة.معينة في (F) عندما تكون الساعة الساكنة عند هذه النقطة تبين الـزمن $t=t_0$، بينما الساعة الساكنة في (F́) والتي تنطبق مع نفس الحدث تشير أثناء الانطباق إلى زمن $(t'<t_0)$

والصياغة الرباعية الأبعاد للنسبية أداة مفيدة لعرض الأحداث الفيزيائيـة، ولكن لا يمكن تفسيرها بلغتنا اليوميـة المعتادة بـأن نتحدث ببسـاطة عن الـوجود المتواصل المكاني الزماني الرباعي الأبعاد كما تعودنا أن نتحدث عن فضائنا المعتـاد الثلاثى الأبعاد.

٥ - حواشي الفصل [٦]

١ - انظر الفصل ٥، القسم ٦، ٧.

٢ - نفس المرجع.

٣ - ارنست ماشن «The History and Root of the Principle of the Conservation of Works» (براغ، ١٨٧٢) وقد محص هذه التحليل فيما بعد في كتابه «Mechanics and Its Evolution» (الطبعة الألمانية ١٨٨٣)، وفي الترجمة الانجليزية «The Science of Mechanics» (شيكاغو: Open Court Publishing Co.، (١٨٩٣).

٤ - «Opticks» لاسحق نيوتن، الكتاب ٣ الجزء ١.

٥ - ماكس بلانك (١٨٥٨-١٩٤٧) فيزيائي الماني. كان أول من وضع الغرض (عام ١٩٠٠) بأن هناك حداً أدنى لقيمة الطاقة (نظرية الكم). انظر «Annalen der Physik» (١٩٠١) المجلد ٤ صفحة ٥٥٣.

٦ - نشر بلانك الموضوع في بحث بعنوان «عن نظرية ماشن للمعرفة الفيزيائية» في Physikalesche Zeitrchrift (١٩١٠)، المجلد ١١ صفحة ١١٨٦ وما يليها.

٧ - «عن تأثير الجاذبية عن انتشار الضوء» في Annalen der Physik (١٩١١) المجلد ٣٥ صفحة ٧٩٨ وما يليها.

٨ - نشر أينشتاين في Berichte derPreussischer Academie نظريته النهائية العامة في النسبية. وقد عرف بوضوح أن قوى ماشن الناشئة عن النظام الدوار للنجوم الثابتة هي بالفعل قوى جاذبية.

٩ - جلبرت ريلي، «The Conception of the Mind» (نيويورك: مؤسسة بارن ونوبل، ١٩٤٩).

١٠ - انظر الفصل ١، قسم ٦.

١١ - جوزيف لويس لاجرانج (١٧٣٦ - ١٨١٣) رياضي فرنسي. وقد أعد بحثه الرئيسي «الميكانيكا التحليلية» في برلين بين ١٧٧٦، ١٧٩٦.

١٢ - هرمان مينكوسكي (١٨٦٤ - ١٩٠٩) رياضي الماني.

[٧]

تفسيرات ميتافيزيائية للفيزياء النسبية

١ ـ تفسيرات ميتافيزيائية «للقصور الذاتي»

ما من شك في أن نظرية الحركة لنيوتن كانت عظيمة الفائدة لاستنباط الحركات المنظورة للأجسام المادية ولتشغيل الأجهزة الميكانيكية. ومع ذلك، فدائماً ما أثير التساؤل عما إذا كانت هذه القوانين قد «فسرت» حقاً الحركات المنظورة أم لم تفعل، وعما إذا كانت هذه القوانين «جلية» بالمعنى الأرسطوي أم لا. وما لم تستوف قوانين نيوتن هذه المتطلبات فإنها تظل تواجه الاعتراض العام بأن العلم لا ينبئنا بشيء عن الأسباب الحقيقية ولكنه يعطينا فقط صيغاً ومعادلات ذات قيمة عملية ولكنها في حد ذاتها لا معنى لها و«غير إنسانية» على حد تعبير رالف والدو ايمرسون. وليس من المستغرب أن نرى محاولات متكررة تهدف إلى إثبات أن قوانين الحركة لنيوتن أو قانونه عن «عدم فناء المادة» يمكن استنباطها «بالنظر بعين العقل» أو «بالبصيرة الميتافيزيائية». ومن المفيد أن نفحص بوجه خاص نتائج هذا «الحدس الميتافيزيائي» لكي نكشف ما إذا كانت تلك النتائج هي، كما حدث في حالات أخرى، نتائج لمحاولات لفهم مبادىء نيوتن في الميكانيكا من خلال تماثلها مع الخبرات المألوفة في حياتنا اليومية.

أثبت أرسطو أن النص «إذا قذف جسم في اتجاه ما ولم تكن هناك قوة تؤثر عليه فإنه سوف يتحرك في خط مستقيم في اللانهاية وبسرعة ثابتة»، هو نص مناف للعقل ومناقض للافتراضات الجلية[1]. وطبقاً لفيزياء أرسطو يتحرك الجسم بسرعة تتناسب عكسياً مع كثافة الوسط الذي يتحرك فيه. فلو كان الجسم يتحرك في الفراغ فإن كثافة الوسط تهبط إلى الصفر وتصبح السرعة لا نهائية؛ لكن الجسم حينئذ سوف يقطع مسافات هائلة دون أن يستغرق في ذلك وقتاً، وهذا أمر مناف للعقل. وعلى أية حال، عندما وضع جاليليو ونيوتن قانون القصور الذاتي كمبدأ أساسي في الميكانيكا، أصبح من الممكن استنباط حقائق عديدة يمكن تدقيقها من خلال التجربة. وأصبحت ميكانيكا نيوتن حجر الزاوية في ميكانيكا الفلك كله والهندسة جميعها. وقد ظل من المطلوب إثبات أن هذه المبادىء لم تكن من النوع «المتخلف» (كما كان سانت توماس يصفها[2]) أي من النوع الذي يتم تأكيده من خلال نتائجه وليس من خلال الحجج والبراهين. وقد كانت هناك محاولات متكررة لإثبات أن ميكانيكا نيوتن «واضحة في جوهرها» أو، بعبارة أخرى، أنها يمكن أن «ترى بعين العقل».

ولكي نفهم جيداً كيف تم «إثبات» مبادىء الميكانيكا «بالرؤية بعين العقل» يمكننا أن نناقش مثالين على ذلك: قانون القصور الذاتي، وقانون عدم فناء المادة. وسوف ندرس حجج اثنين من الفلاسفة من طرازين مختلفين تماماً، وهما: ايمانويل كانت[3] وهربرت سبنسر ـ وأولهما من يدعى بالمثالي النقدي، والثاني تجريبي مدقق ويمكن للبعض أن يسميه مادياً. يحاول كانت[4] أن يثبت الصفة الجلية لقانون القصور الذاتي الذي صاغه على النحو التالي: «كل تغير في المادة يرجع إلى سبب خارجي»، وقد اعتبر أن هذه الصيغة مكافئة لصياغة نيوتن. وقبل أن يورد البرهان نفسه، يقول كانت: «نحن نقتبس من الميتافيزياء العامة أن كل تغير له سبب؛ وفي موضوعنا هذا ليس علينا إلا أن نثبت أن كل تغير يطرأ على المادة لا بد له في كل حالة سبب خارجي». ويجري البرهان على النحو التالي:

المادة، وهي شيء تدركه الحواس الخارجية فقط، لا تحددها سوى الظروف الخارجية في الفضاء، ولا يطرأ عليها تغير إلا بالحركة. ومن ثم (طبقاً لمبدأ الميتافيزياء) فإن التغير من حركة إلى حركة أخرى، أو من السكون إلى الحركة، لا

بد أن يكون له سبب خارجي. ولكن السبب لا يمكن أن يكون سبباً داخلياً لأن المادة لا تتحدد بأسباب داخلية. وعلى هذا فإن أي تغير يطرأ عليها يكون له سبب خارجي، أي أنها تظل في حالة سكون أو تستمر في التحرك بسرعة ثابتة ما لم تتأثر بسبب خارجي.

وإذا قارنا بين هذا البرهان وبين معالجة العلم الحديث لقانون النسبية(٥)، فإننا ندرك أن القياس المنطقي لكانت غير مقنع. إن كل شيء يتوقف على مفهومنا «لحالة الحركة». فإذا سمينا «تغير المكان» تغيراً في الحركة، فإن الحركة المنتظمة بدون سبب خارجي دائم تصبح أمراً مستحيلاً. أما إذا فهمنا «حالة الحركة» على أنها مجرد «سرعة» فإننا نستطيع أن نثبت أن التغير في السرعة هو وحده الذي يحتاج إلى سبب خارجي. لكن تعريف «حالة الحركة» بأنها «السرعة»، كما فعل نيوتن، يكون فرضاً فيزيائياً يمكن تدقيقه من خلال نتائجه، وليس من خلال أي حدس ميتافيزيائي.

ولما كان كانت قد أحس بأن برهانه غير مقنع (بالرغم من أنه على شاكلة الاستنتاج المنطقي)، ربما لأنه استخدم مصطلحات مثل «تغير الحركة» دون إضافة تعريفات تشغيلية، فقد أضاف كانت فقرة «ملاحظات» لكي تجعل البرهان أكثر اقناعاً. والأمر المهم في هذه الملاحظات هو أنها تحتوي تشبيهات بين الأجسام المتحركة وبعض نصوص النظرة السليمة المألوفة والمستمدة من الحياة اليومية. كتب كانت يقول:

> القصور الذاتي للمادة ليس سوى ما لا حياة فيه، ولا يعني القصور الذاتي للمادة غير ذلك. فالحياة معناها حالة المادة التي تحدد بها نفسها بواسطة مبدأ داخلي لكي تنشط، أو هي حالة الشيء المادي التي تجعله يتحرك أو يسكن، كتغير في حالته. ونحن لا نعرف أي مبدأ داخلي آخر للمادة سوى الرغبة، ولا نعرف على وجه العموم أي نشاط داخلي آخر سوى التفكير بكل شيء يتعلق بهذه الرغبة، وبعاطفة السرور أو الاستياء، والشهوة أو الارادة. ولا تنتمي هذه الدوافع والأفعال إلى ما نحلسه بالحواس الخارجية، ومن ثم لا تنتمي إلى صفات المادة كمادة. ولهذا فإن المادة، على هذا النحو، لا حياة فيها. وهذا هو ما يقوله قانون القصور الذاتي، وهو لا يقول شيئاً آخر.... وبالاضافة إلى بقاء المادة، فإن إمكانية العلم بمعناه المحدد ترتكز على قانون القصور الذاتي. وعكس ذلك، ومن

ثم موت كل الفلسفة الطبيعية، سيكون مذهب حياة المادة (Hylozoism)، أي افتراض أن المادة حية. وكما استخلصنا غيبة الحياة فإننا نستخلص أيضاً من نفس مفهوم القصور الذاتي أن القصور الذاتي ميل ايجابي من هذه المادة لأن تحتفظ بحالتها. والكائنات الحية هي وحدها النشطة بهذا المعنى لأن لديها فكرة عن حالة أخرى ممكنة، فهي تبغضها، وتجاهد ضد التغيير[٦].

والوضع في الحياة اليومية والذي يشبهه «كانت» بالقصور الذاتي للمادة هو التباين بين المادة نفسها وبين الصانع الماهر الذي يشتغل بالمادة لكي ينتج منها شيئاً معيناً يتصوره في ذهنه. فالمادة كسولة وخاملة أما الإنسان فهو نشط ويستخدم عقله. والسمة المميزة للمادة هو كسلها التام، وهذه الصفة هي المسؤولة في رأي كانت عن القصور الذاتي للمادة. وهذا التشبيه يجعل من قانون القصور الذاتي شيئاً «إنسانياً» دون شك، إلا أنه سيكون من الأمور المضللة إلى أبعد الحدود أن نعتبر هذا التشبيه «تفسيراً» للقصور الذاتي. وبالرغم من أن إدخال مفهوم «الحياة» في العلوم الفيزيائية يجعلها أكثر «إنسانية» فإنه من المؤكد واهي الصلة بالقانون الواقعي للقصور الذاتي في الميكانيكا. بل إنه يعطي انطباعاً مضللاً بأن قانون القصور الذاتي لا ينطبق على الكائنات الحية.

ويمكن إعادة صياغة حجج «كانت». بحيث لا تتضمن أي تشبيه بالكائنات الحية. يمكننا أن نعتبر «الكائن الحي نفسه» عبارة عن نظام ميكانيكي يتألف من نقاط كتلية. «القوى الداخلية» في النظام هي إذن «قوى خارجية» بالنسبة للنقطة الكتلية المفردة، ويمكننا أن نفهم كيف يغير هذا النظام حالته من السكون إلى الحركة، فالقوى الخارجية تؤثر على النقاط الكتلية المفردة. فيمكن للنظام أن تنشأ فيه حركة بشرط ألا يتعارض ذلك مع قانون بقاء الزخم (كمية التحرك). ومع ذلك، إذا اعتبرنا نقطة كتلية معزولة في الفضاء، فليست هناك قوة خارجية ولا يمكن لحالة الحركة أن تتغير لأن أي تغير سوف يتناقض مع «الحقيقة الميتافيزيائية» القائلة بأنه لا يحدث أي تغير بدون قوة خارجية.

وبهذا الشكل يكون «إثبات» صلاحية قانون القصور الذاتي شديد الشبه «بأفضل» الإثباتات الواردة، ونعني به الإثبات الذي قدمه عالم الفيزياء البريطاني جيمس كلارك مكسويل. ويبدو هذا الإثبات شديد الإقناع غير أنه عند إعادة

النظر سنجد أنه في واقع الأمر ليس إثباتاً ولكنه يركز فقط على التماثل البحت مع خبرة الفطرة السليمة. فبعد أن عرض مكسويل البرهان التجريبي كتب يقول عن قانون القصور الذاتي:

> **لكن اقتناعنا بصدق هذا القانون قد يتعمق كثيراً إذا درسنا ما ينطوي عليه إنكارنا لهذا القانون. إذا كان لدينا جسم متحرك وترك دون أن تؤثر عليه أية قوة فماذا يحدث؟ طبقاً لقوانين نيوتن سوف يظل الجسم متحركاً بسرعة منظمة في خط مستقيم.**

ويدرس مكسويل بعد ذلك افتراض أن السرعة يمكن أن تتغير.

> **فإذا لم تظل السرعة ثابتة فلنفترض أنها ستتغير. يجب أن يكون للتغيير في السرعة اتجاه محدد ومقدار محدد... ويتحدد إما باتجاه الحركة ذاتها وإما باتجاه معين ثابت في الجسم. ولنفترض مثلاً أن القانون يقضي بأن السرعة تتناقص بمعدل معين... فالسرعة التي أشرنا إليها في هذا القانون الافتراضي لا يمكن أن تكون سوى سرعة مسندة إلى نقطة ساكنة سكوناً مطلقاً، لأنها إذا كانت سرعة نسبية فإن كلاً من اتجاهها ومقدارها سيعتمدان على نقطة الإسناد... ومن ثم فلن يكون للقانون الافتراضي معنى ما لم نعترف بإمكانية تعريف السكون المطلق والسرعة المطلقة. وعلى أية حال، فهذا أمر مستحيل.**

إنَّ انكار قانون القصور الذاتي سوف ينطوي حينئذ (طبقاً لمكسويل) على افتراض أنه من المعقول أن نقول عن نظام إسناد معين إنه حالة سكون مطلق أو يتحرك بسرعة مطلقة معينة. ويركز مكسويل على أن العقل البشري لا يمكنه أن يتصور ما هو الموقع المطلق في الفضاء؛ ولذلك فإن انكار قانون القصور الذاتي «يتعارض مع النظام الوحيد للمذهب الملائم بشأن المكان والزمان الذي استطاع العقل البشري أن يشكله». ويرتكز هذا النظام الوحيد بالطبع على مفهوم أن كلاً من «الموضع» و«السرعة» لا معنى لهما إلا بالنسبة لنظام إسناد معين.

وإذا درسنا حجج مكسويل واضعين في ذهننا كل ما عرفناه عن «الوجهة العلمية» للقصور الذاتي، يمكننا أن نرى في يسر أن كل برهان قدم لكي يجعل من «القصور الذاتي» شيئاً جلياً هو في الواقع ليس «برهاناً» ولكنه تفسير ميتافيزيائي للقصور الذاتي. ومن الواضح أن إنكار مبدأ القصور الذاتي بالإضافة إلى أنه

ينطوي على نظام إسناد في حالة سكون مطلق، فإن تأكيد هذا المبدأ لا معنى له أيضاً إذا لم نسنده إلى نظام إسناد يكون في حالة سكون. ويقضي مبدأ القصور الذاتي بأن الكتلة التي لا تؤثر عليها قوة خارجية تظل ساكنة أو تتحرك في خط مستقيم. لكن «السكون» و«التحرك في خط مستقيم» لا معنى لهما ما لم يكن لدينا نظام إسناد تكون الكتلة بالنسبة له في حالة سكون أو متحركة في خط مستقيم. ولهذا لا يمكننا أن نستنتج من برهان مكسويل سوى أنه «إذا كانت الكتلة تتحرك بسرعة ابتدائية بالنسبة لنظام إسناد (S) فإنها تستمر في تحركها بنفس السرعة بالنسبة للنظام (S)». لكن هذا النص خطأ دون ريب إذا نظرنا إليه على أنه نص فيزيائي. فقد عرفنا من دراسة علم الحركة أن الكتلة لا تحتفظ بسرعتها بالنسبة لنظام إحداثيات دوار(٨). ومن ثم فإنه ليس هناك برهان؛ ليست هناك «رؤية بالحدس»؛ ليس هناك «حدس ميتافيزيائي» نستطيع أن نعرف منه ما هو نظام الإسناد الذي يحتفظ الجسم بسرعته بالنسبة له. إن حجج مكسويل تؤدي إلى نص رياضي بحت بشأن نظام إحداثيات خيالي يفتقر إلى أي معنى تشغيلي.

وأكد أرنست ماسن فيما بعد على أن قوانين نيوتن يجب ألا تسند إلى «نظام ساكن سكوناً مطلقاً، أي إلى الفضاء المطلق لنيوتن» وإنما إلى نظام فيزيائي قصوري، وهو على سبيل التقريب المبدئي ينطبق على نظام مجرتنا. وعندئذ يجب أن تعاد صياغة حجج مكسويل على النحو التالي:

«إذا كان هناك جسم يتحرك بسرعة بالنسبة إلى النجوم الثابتة وكانت هذه السرعة متناقصة فإن هذا التناقص يجب أن يتم طبقاً لقانون ما». لكن ليس هناك تناقص في هذا الفرض، أياً كان هذا القانون المشار إليه. وفي واقع الأمر كانت النظرية المقبولة بوجه عام، قديماً وبعد أيام أرسطو، أن الكتلة التي تتحرك بسرعة بالنسبة للمجرة سوف تتوقف من تلقاء نفسها لأن الحالة الطبيعية للأجسام الأرضية هي أن تكون في حالة سكون. ومع ذلك، فإن هذا «البرهان» على القصور الذاتي ليس برهاناً سلبياً لسبب آخر، إذ يرى مكسويل أن السرعة لا يمكن أن تتغير لأنه لا يمكن تصور قانون للتغيير يمكن أن يتلاءم مع مفهومنا العام للزمان والمكان. وينطوي هذا الرأي على أنه من المسلم به أن قوانين الحركة يجب أن

تصاغ بواسطة وصف التغيرات في السرعة. وبتتبع المسار التاريخي للفيزياء، يمكن للمرء أن يفترض أن قوانين الحركة يجب أن تصاغ على أنها تغيرات للموضع. وعندئذ يمكن للمرء أن يستنتج من خلال تتبعه لخط أفكار مكسويل أن موضع الجسيم لا يمكن أن يتغير ما لم تؤثر عليه قوى خارجية لأنه ليس هناك اتجاه محدد يسير منه. ونفترض مثل هذا البرهان الضمني لمكسويل أن هناك اتجاهاً تحدده السرعة الحالية؛ ومع ذلك، فهذا النص يزعم أن الموضع ليس هو وحده المرتبط بالحالة ولكن السرعة أيضاً ذات شأن. وبعبارة أخرى، فإننا نفترض «حالة» الكتلة لا تتحدد بواسطة الموضع فقط، ولكن بواسطة الموضع والسرعة. ويكاد هذا الفرض أن يكون مثيلاً لفرض صلاحية قانون القصور الذاتي.

ويمكننا أن ندرك من هذه الاعتبارات أن هذه «البراهين» على قانون القصور الذاتي ليست براهين على وجه الإطلاق. ولكن ماذا تكون؟ هل علينا أن نقول ببساطة، كما يفعل العلماء عادة، إن هذه البراهين خاطئة؟ إنها بالتأكيد خطأ من الوجهة العلمية البحتة. ولكنها من ناحية أخرى «تفسيرات ميتافيزيائية لقانون القصور الذاتي. إنها تحاول أن تفسر هذا القانون من خلال تماثلات مستمدة من مجالات خبرة الحياة اليومية، ونعني بها تماثلات الفطرة السليمة. إنها تتحدث عن «السرعة» بلغة حياتنا اليومية دون تحديد لنظام إسناد. إنها تفترض أننا إذا تعرفنا على الجسم من خلال خبرتنا الحسية فإننا نعرف «حالته»: إنها تهمل نقطة رئيسية وهي أن «حالة الجسم» لا تنتمي إلى وصفه بالفطرة السليمة، ولكنها جزء من اللغة العلمية التي تم بناؤها لكي تصاغ بها قوانين الفيزياء في شكل ملائم. ومن ثم فإن مثال «القصور الذاتي» مثال مفيد. فنحن نعلم أن تماثلات الفطرة السليمة التي نصنعها لكي تصبغ قوانين الفيزياء «بالصبغة البشرية»، والتي تسمى فيما بعد «بالتفسيرات الميتافيزيائية» ذات خاصيتين:

فهي تهمل أو تنتقص من المعنى التشغيلي، وتتجاهل أن «حالة» الجسم هي مفهوم اصطنعه العلماء عمداً لكي تصاغ القوانين الفيزيائية على نحو بسيط وملائم.

٢ ـ «عدم قابلية المادة للفناء» كتفسير ميتافيزيائي

إن مفهوم استحالة إنتاج المادة أو إفنائها، بمعنى أن كتلة الجسم (أو وزنه) لا يمكن تغييرها بدون إضافة أو إزالة جزء منه، هذا المفهوم لم ينظر إليه دائماً على أنه من أمور خبرة الفطرة السليمة. ويسوق هربرت سبنسر(١٠) أمثلة متعددة لأناس لا يؤمنون بعدم قابلية الجسم للفناء: «إني أعرف سيدة كانت تعتقد أن الملابس عندما تكون مطوية وتوضع مضغوطة فوق بعضها تكون أخف مما لو تركت (منفوشة)، ولهذا كانت تستخدم في سفرها حقائب كبيرة لكي تخفض من أجور شحنها». ويعطي سبنسر أمثلة أخرى، وكلها عن السيدات. ويبدو أنه كان يعتقد أن السيدات قد حافظن مدة أطول على أفكار الفطرة السليمة التي كانت تنتمي لمرحلة سابقة من مراحل العلم. ويصر سبنسر على أنه بتقدم العلم أصبح «عدم قابلية المادة للفناء» معتقداً تتقبله الفطرة السليمة.

وبالرغم من أن هربرت سبنسر كان مدافعاً قوياً عن الفكر التجريبي وخصماً معروفاً «للحدس الميتافيزيائي»، فقد كان شديد الرغبة في تتبع الأثر العلمي وصولاً إلى «المبادىء الجلية». ومن المفيد أن نعرف كيف حاول أن يجعل من «عدم قابلية المادة للفناء» مبدأً جلياً. وقد بدأ سبنسر بإثبات أنه لا يمكن أن يكون هناك علم إيجابي بدون هذا الفرض.

> **لأنه إذا كان علينا أن نتعامل مع كميات وأوزان تكون عرضة للتلاشي كلياً أو جزئياً، بدلاً من التعامل مع كميات ثابتة وأوزان، سوف يكون لدينا عنصر غير قابل للحساب، مدمر لكل الاستنتاجات الايجابية. ولذلك يتضح أن فرض عدم قابلية المادة للفناء يجب أن يدرس دراسة متروية(١١).**

ومن المؤكد أن خبرة الفطرة السليمة لم تـؤدِ في الفترات السابقة على ذلك إلى النص على أن المادة باقية. فالخبرات المألوفة مثل احتراق الخشب والفحم ولدت عند الناس اعتقاداً بأن هذه الأجسام تختفي وينتج عن ذلك لهب لا يعرفون ما إذا كان مادة أم لا. كان هناك تفسيران يناقض كل منهما الآخر: كان احتراق الفحم يعني تصاعد الفلوجستين (وهي مادة افتراضية كان المعتقد قبل معرفة الأكسجين أنها أساس عملية الاشتعال)، أما بعد معرفة الاكسجين فقد فسرت عملية

الاحتراق على أنها عبارة عن إضافة الاكسجين. كتب سبنسر يقول: «ومن الواضح أن علم اللاهوت الحالي في تعاليمه بشأن بداية الكون ونهايته متشبع بذلك» وهو يعني هنا متشبع بفكرة خلق المادة وفنائها. ومن ثم فإن هذا الاعتقاد لم يكن في كل زمان مما تعافه الفطرة السليمة. «وعلى أية حال، فإن التراكم التدريجي للخبرات، وأكثر من ذلك هذا التنظيم للخبرات، قد أدى تدريجياً إلى الحفاظ على هذا الاقتناع، حتى الآن [١٨٦٠]؛ فمذهب عدم فناء المادة أصبح مذهباً عادياً». وكما حدث في حالات كثيرة جداً، فقد حدث نفس الشيء في حالة عدم قابلية المادة للفناء، إذ ما كاد يظهر من أن هذا الفرض مفيد عملياً في تفسير البيانات المأخوذة عن الخبرة حتى أصبح من الواضح أن الفرض العكسي (أي فرض قابلية المادة للفناء) سيكون فرضاً مضاداً للفطرة السليمة.

وقد تساءل سبنسر «عما إذا كان لدينا أي ضمان أعلى من ضمان الاستقراء الواعي [من الخبرة]). وكان سبنسر مقتنعاً بأن لدينا ضماناً أعلى». لقد رأى أنه من خلال تمعننا في أفكارنا ومشاعرنا ودوافعنا، أي من خلال وصفنا لمجرى مشاعرنا ووجداننا، يمكننا أن نبرهن بواسطة خبرتنا على أنه من المستحيل سيكلوجياً أن نتخيل إفناء المادة. كتب سبنسر يقول:

> **ويبين التحليل الشخصي الدقيق أن هذا الأمر هو بيانات عن الوعي والوجدان. فلنتصور الفضاء، وقد خلا من كل الأجسام عدا جسم واحد. ثم تخيل هذا الجسم المتبقي وهو لا يتحرك من مكانه ولكنه يبقى في اللاشيء وهو في مكانه هذا. سوف تعجز عن هذا التصور. فلن يمكنك أن تتصور الفضاء الذي كان صلباً متماسكاً وقد أصبح فارغاً، إلا إذا حدث ذلك بسبب انتقال الشيء الذي كان يجعله صلباً.**

وقد بين سبنسر أنه من المستحيل أن تضغط المادة حتى تصبح لا شيء. وكل ما يمكن أن يتصوره المرء هو أن تنقص المسافة بين أجزاء المادة.

> **بينما يمكننا أن نستعرض كمية هذه المادة وقد تقاربت، فإنه لا يمكننا أن نستعرض هذه المادة وقد نقصت فلكي نفعل ذلك علينا أن نتخيل بعض الأجزاء التي تتكون منها المادة وقد حفظت حتى أصبحت لا شيء.... إن فناء المادة أمر غير وارد لنفس السبب الذي يجعل خلق المادة أمراً غير وارد.**

ويعتبر برهان سبنسر برهاناً مفيداً، خصوصاً وأنه قد أفاض بأحكام في أمر «استحالة تخيل فناء المادة» على نحو سيكلوجي مفصل، بينما ادعى معظم المؤلفين أن فناء المادة يتناقض مع ما تشهد به «عيننا الداخلية» أو مع «الحدس الذهني».

ويتضح أيضاً من برهان سبنسر أننا في الواقع نعني باستحالة التخيل أو التفكير في فناء المادة أنه يستحيل علينا أن نجد في خبرتنا المستمدة من الفطرة السليمة إحدى الحقائق التي يمكن أن نسميها فناء للمادة. وعلى هذا فإن الذي أثبته سبنسر هو أننا لم نجد من خبرتنا اليومية ما يماثل خلق المادة أو فنائها. ولذلك فإن فكرة عدم قابلية المادة للفناء هي تفسير ميتافيزيائي للفيزياء النيوتونية. وكما فهمنا هناك ظواهر في الفيزياء الحديثة تفسر على أنها «فناء للمادة»، مثل تحول زوج الالكترون والبوزتيرون إلى جزء أولي من الطاقة المشعة (فوتون) أو فقدان الكتلة الذي يصاحب تكوين الهيليوم من الايدروجين. وقد عرفنا في الواقع أنه «بتعبئة» (packing) نواتي ايدروجين ونيوترونيـن بإحكام تنشأ عن ذلك نواة هيليوم، وكتلتها أقل من مجموع كتل مكوناتها. ولدينا في الفيزياء النووية ما يسمى «تأثير التعبئة» (packing effect).

ومن المفيد أن نلاحظ أن سبنسر يسخر من سيدة كانت تعتقد «بتأثير التعبئة» منذ مائة عام مضت (كما جاء بأول هذا القسم)، ويبين سبنسر أن السيدة لم تكن من الذكاء بحيث تستطيع أن تفهم أن «تأثير التعبئة» ليس موضع تفكير ولا يمكن تخيله. ومن شأن الشخص غير المدرب في العلم، مثل السيدة المذكورة في حكاية سبنسر، أن يكون قد اكتسب حداً من خبرة الفطرة السليمة يسمح بفناء المادة بواسطة التعبئة المحكمة. وعندما يصبح المرء أفضل تدريباً في التفكير العلمي سوف يفهم أن «تأثير التعبئة» أمر لا يمكن التفكير فيه. ويمكننا أن نفهم من كل هذا أن السيدة التي سخر منها سبنسر كانت على حق، لأن «تأثير التعبئة» أمر ممكن، وأن الفيلسوف الذي اعتقد أنه يستطيع إثبات أن قابلية المادة للفناء أمر غير وارد، كان على خطأ. ويبدو من الخطأ أن نعتقد أن السيدة أو أي شخص آخر يمكنه أن يحسن فطرته السليمة من خلال تدريب ذهنه تدريباً نشطاً. فإذا استجابت السيدة المذكورة إلى نصيحة سبنسر لكانت قد أفلحت في نهاية الأمر في أن تنجح في

استيعاب فكرة أن فناء المادة و«تأثير التعبئة» أمران غير واردين.

أدت تقدمات، الفيزياء الذرية إلى اكتشاف «تأثير التعبئة»، ولم تتم تلك التقدمات من خلال مجهودات مبذولة في تخيل فناء المادة، ولكنها تمت من خلال محاولات لبناء نظام للرموز، أي هيكل مفاهيمي يمكن أن نستنبط منه الظواهر المنظورة.

ومن بين المفاهيم التي يتألف منها النظام كان مفهوم انخفاض الكتلة عندما تتجمع بنية نواة الذرة تجمعاً محكماً (في حيز أضيق). ولا تتمثل المشكلة في أن نتخيل مباشرة كيف يمكن للمادة أن تختفي، ولكنها تتمثل في استنباط ظواهر مرئية من النص القائل بأن المادة تختفي. ولا ريب أن كل ظاهرة منظورة هي أيضاً ظاهرة يمكن التفكير فيها وتخيلها. ومن المؤكد أن تأثير التعبئة الذي فكرت فيه السيدة صاحبة الوعي الاقتصادي كان تأثيراً ضئيلاً، ومن المحتمل أنها قوبلت بالسخرية لأنها أولت أهمية لمثل هذا النقص الصغير في الوزن. ولكننا اليوم نعلم أن مستقبل عالمنا قد يتعلق على صغير من الكتلة لأن هذا النقص في الوزن هو «سر القنبلة الهيدروجينية».

٣ ـ مضامين ميتافيزيائية لنظرية النسبية

عند عرض نظرية النسبية لأينشتاين من الوجهة المنطقية والتجريبية[١٣] اتضح أن بنيتها المنطقية لا تختلف اختلافاً أساسياً عن أي نظرية فيزيائية؛ فهي تبدأ من نظام شكلي أضيفت إليه تعريفات تشغيلية، وتستنبط من هذا النظام بطريقة منطقية نصوصاً يمكن تدقيقها بالمشاهدات الواقعية. وتلك المشاهدات هي من نفس النوع تماماً مثل أي مشاهدات في الميكانيكا التقليدية أو الضوء؛ وهي تتألف من مشاهدة انطباق العلامات على المقاييس المختلفة. ويمكن عرض النظرية على أنها منظومة من الفروض الفيزيائية، أو منظومة من التعريفات، على النحو الذي يمكن أن تعرض به أي نظرية فيزيائية. ومنظومة التعريفات هي ترتيب يمكننا من صياغة الفروض على نحو بسيط وعملي. ومع ذلك، فقد ردد كثير من المؤلفين مراراً وتكراراً أن نظرية النسبية ليست نظرية فيزيائية بالمعنى المعتاد لهذه الكلمة،

ولكنها مذهب فلسفي أو ميتافيزيائي يفسر حقائق فيزيائية جديدة دون أن يقدم الجديد من الفروض الفيزيائية. إنها تقترح وجهة نظر جديدة بشأن المكان والزمان، وتضع المشاهد العلمي نفسه في الصورة بالنسبة للكون الفيزيائي.

وفضلاً عن ذلك، فإن كثيراً من النابهين من المؤلفين، والفلاسفة، والقادة الدينيين، والمربين، بل والعلماء، يدعون أن نظرية النسبية قد غيرت النظرة العامة بشأن موضع الإنسان في الكون تغييراً جذرياً. فالصورة الميكانيكية للكون والتي سادت منذ القرنين السابع عشر والثامن عشر قد كانت دعماً ضخماً ساعد على المسيرة نحو فلسفة مادية. وهذا الاتجاه في القرنين الثامن عشر والتاسع عشر كان يبدو لدى الكثيرين من المشاهدين وكأنه اتجاه لا يمكن مقاومته. ومع ذلك، فقد تدعم في القرن العشرين انطباع بأن هذا الاتجاه الجبار قد أوقفته فيزياء القرن العشرين وخاصة نظرية النسبية ونظرية الكم. كان الواضح لدى كثير من المؤلفين أن الاتجاه نحو المادية قد توقف، وأنه قد حدث تحول حاد نحو المثالية. وقد نشر حديثاً كتاب لعالم البيولوجيا الشهير بجامعة ييل، ادموند وير سينوت (Two Roads to truth). وقد حاول المؤلف أن يصلح بين العلم والدين معتمداً على نتائج العلم المعاصر(١٤) كتب سينوت يقول:

> **بعد الثورة التي أحدثتها النسبية وميكانيكا الكم والفيزياء النووية، اضطر العلم إلى تعديل بعض نتائجه السابقة. فالحقيقة الواضحة هي أن الكون نظام أكثر تعقيداً عما كان يبدو عليه في زمن نيوتن... فالعلم يتقبل الآن، دون دهشة أفكاراً كانت تبدو منذ زمن غير طويل أفكاراً مستحيلة. وقد انعكس هذا التغيير على وضع متفتح الذهن تجاه الفلسفات المثالية. وعلى مدى ثلاثة قرون كان العلم المتقدم يبدو وكأنه يقوض أساس الإيمان، واضطر الدين إلى تعديل موضعه بطرق شتى حتى لا يفقد أفضل أنصاره من المفكرين. وعلى أية حال، بدأت حركة المد تنعكس حيث تنتقل المثالية العدوانية من حالة الدفاع إلى حالة الهجوم.**

وقد قدم بتريم سوروكين(١٥) عالم الاجتماع الشهير بجامعة هارفارد تفسيراً مشابهاً لنظرية النسبية. فهو يركز استياءه على أن ثقافتنا منذ ظهور العلوم الحديثة (حوالى عام ١٦٠٠) قد أصبحت «ثقافة حسية» (مدركة بالحواس) وهو يعني بهذا أن الاهتمام الأساسي كان مركزاً على الظواهر الحسية. وهو يقارنها دون تفضيل

«بالثقافة التصورية» التي كانت سائدة في القرون الوسطى عندما كانت القيم الروحية والمثالية هي الهدف الرئيسي للكفاح البشري. ويرى سوروكين أن مفهوم الزمان يمثل إحدى الصفات المميزة للحضارة السائدة. فهناك «زمن حسي» في «الثقافة الحسية» يمكن أن يتبلور في قياسات كمية، بينما نجد أن «للزمن القصوري» نوعية مميزة مرتبطة بنشوء الكون وتطوره. ويبين سوروكين أن بعض علامات رد الفعل ضد التأكيد المطلق على «الزمن الحسي» قد بدأت تظهر في القرن العشرين. أولى هذه العلامات هي استرداد الزمن الكيفي بواسطة الفيلسوف الفرنسي هنري بيرجسون(١٦) الذي يميز بين «الزمن الكمي» كما يتصوره الفيزيائي وبين ما يسميه «بالأمد» (الفترة التي يستغرقها حدث ما) وهو زمن كيفي وقد استخدمه بيرجسون في وصف تطور الكائنات. والعلامة الأخرى التي ذكرها سوروكين:

.... هي «الوجود المتواصل المكاني الزماني» الذي قال به كل من منكوسكي وأينشتاين الذي يعتبر، على نحو ما، ثورة ضد نقيضه «الزمن الحسي».... ومعنى هذا أن علامات الثورة ضد الزمن الحسي كانت موجودة. وتتوافق هذه الثورة مع ثورات أخرى ضد عقلية الثقافة الحسية في أواخر القرن التاسع عشر وفي القرن العشرين في كل أقسام الثقافة.

ويوجه سوروكين انتباهنا إلى أن المفاهيم الأساسية المستخدمة في علوم فترة معينة ليست مستقلة عن المفاهيم المستخدمة في صياغة القيم الثقافية لنفس الفترة. وفيما يخص علوم القرن العشرين يركز سوروكين على «اعتماد المفاهيم بأكملها». وفضلاً عن ذلك، فقد تبين أنه يبدو أن هذا «الانعكاس في حركة المد» قد ضيق الفجوة التي كانت تفصل بين العلم والدين. أصبح سد الفجوة أمراً ممكناً. فالاعتماد الكبير على آرائنا العامة عن الكون والتي عزاها كثير من المؤلفين في مجالات التربية والدين، بل في السياسة، إلى النظرية الفيزيائية الجديدة، قد وضع الفيزيائيين أنفسهم في مأزق. كان كثير منهم مسروراً لأن علومهم العزيزة قد أصبحت مأخوذاً بها على أنها سند لمعتقداته الأخلاقية والدينية العزيزة. إلا أن كثيراً من المؤلفين قد اعترضوا بأن النسبية هي نظرية فيزيائية أمينة تحاول أن تصف الظواهر المرئية، ولا يمكنها أن تحسم النزاع بين المادية والمثالية، وهي أكثر عجزاً

عن أن تحسم النزاع بين الدين وأعدائه.

ويتساءل المرء كيف يتسنى لنظرية جديدة أن تكون مجرد تحسين لخطتنا في التنبؤ بالظواهر المرئية من جانب، وأن تكون من جانب آخر سلاحاً في المعركة ضد أو مع الدين أو الفلسفة. وقد تدربت الغالبية العظمى من فيزيائيي هذا العصر تدريباً جيداً على أن يفصلوا ما أمكنهم بين مجالات تخصصهم وبين الفلسفة. ومن ناحية أخرى، فإن الغالبية العظمى من طلبة الفلسفة قد دربوا على الاعتقاد بأن الإلمام السطحي بالفيزياء أصبح أمراً ضرورياً لكي يحقق المرء فهماً جيداً للفلسفة. ومع ذلك، فإذا سألنا كيف يتسنى لنظرية فيزيائية أن تفسر على أنها تؤيد أو تدحض المادية أو المثالية فإن ذلك يضع الفيزيائيين حقاً «في مأزق». وإذا استشعر فيلسوف أن معلوماته في الفيزياء غير كافية فاستشار «خبيراً» في الفيزياء فإنه نادراً ما يتلقى رداً مرضياً.

وهناك بالطبع فيزيائيون على استعداد لأن يتقبلوا أكثر الحجج إبهاماً طالما أنها لا تتظاهر بأنها حجج علمية، ولكنها تدعي بأنها «فلسفية» تتفق مع الفلسفة التي استقاها الفيزيائي في طفولته. ولكن هذا الفيزيائي عندما يتحدث «كفيزيائي» فإنه يقول عادة إن كل هذه المضامين، «الفلسفية» بشأن المثالية أو المادية هي مجرد هراء لا يصح للعالم الأمين أن يوليها اهتماماً. ولسوء الحظ أن لهذا «الهراء» تأثيراً قوياً على السلوك البشري، فالفيزيائي الذي يعجز عن أن يقدم إلى طلبته تفسيراً محدداً عن الأصداء الفلسفية للنسبية لا يكون قد أدى واجبه كمدرس للفيزياء في مجتمع ديموقراطي. ويميل الفيزيائي إلى تطبيق كلمة «هراء» على كل محاولة لاستنباط آراء فلسفية عن الكون من النظريات الفيزيائية، لأنه يشعر بأن هذه النتائج ليست بالمعنى الدقيق نتائج منطقية للنصوص العلمية التي تتألف منها هذه النظريات، مثل نظرية النسبية. ومع ذلك يمكننا أن نفهم معنى هذه المضامين الفلسفية فهماً جيداً إذا لم نعتبرها نتائج منطقية أو تعميمات استقرائية للنسبية الفيزيائية، ولكننا نعتبرها تفسيرات ميتافيزيائية لنظرية أينشتاين.

ونظرية النسبية في واقع الأمر مهيأة جيداً لأن تصبح مثلاً للتفسيرات الفلسفية أو الميتافيزيائية للعلم. ومن هنا يمكن أن نفهم أن المضامين الفلسفية

للنسبية يمكن أن تستخرج بطرق شتى كثيراً ما تتناقض حتى مع بعضها البعض وهذا أمر مفهوم إذا علمنا أن النظرية لا تحدد هذه التفسيرات تفسيراً فريداً، فهذه التفسيرات هي تماثلات بنظرية النسبية مستخلصة من دنيا تجاربنا اليومية. وقد قال برتراند راسل[١٧]:

وكما هو المعتاد في حالة كل نظرية علمية جديدة، كان هناك اتجاه من كل فيلسوف نحو تفسير أعمال أينشتاين على نحو يتفق ونظامه الميتافيزيائي، ولأن يقترح أن المحصلة هي نصر للآراء التي يعتنقها هذا الفيلسوف.

وفي الواقع أن هناك فلاسفة وصفوا نظرية النسبية على أنها مجرد وصف للمشاهدات دون تغلغل في القوانين الحقيقية للطبيعة، بينما ادعى مؤلفون آخرون أن نظرية النسبية ليست نظرية فيزيائية ولكنها نظرية ميتافيزيائية تنبئنا بقوانين الكون الأكثر توغلاً. وقد هلل بعض المؤلفين لنظرية النسبية باعتبارها النصر النهائي لمذهب المثالية على المادية، بينما اتهم آخرون نظرية النسبية بأنها شكل فج من أشكال المادية. ويلعب هذا التفسير الميتافيزيائي دوراً كبيراً جداً في نطاق المحاولات التي جرت لنشر نظرية النسبية بين الجماهير، لتفسير معناها للرجل العادي. وقد كتب لنكولن بارنيت[١٨] يقول:

لقد اضطر الفيزيائيون إلى التخلي عن دنيا الخبرة التي اعتدناها وهي دنيا الإدراك الحسي. . . بل إن المكان والزمان هما شكلان للحدس لا يمكن فصلهما عن الوعي أكثر مما نفصل مفهوم اللون، والشكل، والحجم. فالمكان ليس حقيقة موضوعية سوى أنه ترتيب أو تنظيم للأشياء التي نشهدها فيه، كما أن الزمن ليس له وجود مستقل سوى ترتيب الأحداث التي نقيسه بها.

وهذا أمر صحيح على وجه التأكيد، ولكنه صحيح بالنسبة لكل النظريات الفيزيائية إذ ان دنيا مشاهداتنا الحسية المباشرة في كل نظرية تستبدل بنظام شكلي، هو ربط بين رموز ترتبط بدورها بالانطباعات الحسية من خلال «تعريفات تشغيلية». ويمكننا أن نستنبط تفسيرات ميتافيزيائية من هذه الجمل التي يمكن دحضها وذلك بأن نبرز بعض التماثلات الخاصة. فيمكن أن نؤكد أن كل النصوص الخاصة بالطول أو الأمد لم تعد بعد نصوصاً بشأن «زمان أو مكان موضوعيين» ولكنها نصوص بشأن انطباعاتنا. ويبدو أن ذلك يقلل من دور المادة

ويزيد في دور العقل، وهذا يعني دحضاً للمذهب المادي في العلم. ولكننا نستطيع أيضاً أن نزعم أن «المكان» و«الزمان» كانا قبل أينشتاين شيئين روحيين، و أنه قد حُل محلهما الآن قراءات على ساعات أو مساطر مادية، وهذا يعني تفسيراً مادياً.

وقد اكتسب التفسير المادي تعزيزاً من خلال الحوار القائم على أن نظرية النسبية[١٩] تنطوي على أن مبدأ بقاء المادة لم يعد سارياً؛ فالمادة يمكن أن تتحول إلى شيء غير مادي، وهو الطاقة. وقد اعتبر هذا النص دعماً لعقيدة بعض الجماعات الدينية بأن «المادة قد توقف وجودها» طبقاً للعلم الحديث، بل إنه يعتبر دعماً للكلمات الشهيرة لماري بيكر إيدي[٢٠] مؤسسة العلم المسيحي: «ليس في المادة حياة، أو حقيقة أو ذكاء أو جوهر».

وقد رحب الفيلسوف البريطاني هربرت ولدون كار[٢١] بنظرية النسبية لأينشتاين لأنها قد أمنت للعقل موضعه في الكون المادي الموضوعي. وقد أوضح كار أن الاعتقاد العام الذي كان سائداً قبل أينشتاين هو أن «الطبيعة لا يمكن أن تؤثر على العقل إلا في شكل الأفكار المبهمة الشبيهة بالأحلام». ومع ذلك، وكما سبق أن رأينا[٢٢]، فإن قوانين الميكانيكا والضوء في نظرية النسبية لا يمكن صياغتها دون تدخل واضح لعقل العالم المشاهد. ويقول كار:

> **والآن عندما تتناول الحقيقة على نحو محسوس كما تتطلب منا النظرية العامة للنسبية. فإننا لا يمكننا أن نفصل المشاهد عما يشاهده، أو العقل عن موضوعه، ثم نتنازع في أيهما له الأولوية على الآخر.**

ويمكن للمرء أن يقول إن الاتجاه اللامادي في علوم القرن العشرين قد استمر بفضل الفكرة الشائعة عن العلم. فنجد مثلاً في دائرة المعارف البريطانية[٢٣]: «يميل العلم المعاصر إلى الابتعاد عن مذهبي المادية والميكانيكية والاقتراب من الاعتراف بغير العوامل الميكانيكية في ظواهر الطبيعة، حتى الظواهر الفيزيائية».

وفي القرون التي سادت فيها ايديولوجية التقاليد العبرية والمسيحية، اعتبر المذهب المادي مذهباً ضاراً بوجه عام بالنسبة للسلوك البشري المرغوب فيه، ولذلك فإن نظرية النسبية عندما دحضت المادية اعتبر ذلك إنجازاً ضخماً. وإذا

شئنا أن نقيم التعليق على نظرية النسبية الذي جاء من البلاد التي تحكمها حكومات شيوعية فلا بد أن نتذكر أنه طبقاً لمذهب الحزب الحاكم لا يمكن أن يستنبط السلوك المرغوب للإنسان إلا من فلسفة المذهب المادي الجدلي. وتختلف هذه الفلسفة في كثير من الوجوه عما اعتدنا أن نسميه «بالمذهب المادي». وعلى أية حال، كان هناك اتجاه قوي بين المؤلفين السوفييت نحو الاتفاق مع الرأي القائل بأن نظرية النسبية تتناقض مع المادية. وهذا ينطوي بالطبع على شجب نظرية النسبية على أنها «نظرية رجعية» من شأنها أن تؤدي إلى سلوك سياسي غير مرغوب فيه. وقد اختار المؤلفون السوفييت نقطتين جعلوا منهما هدفاً لهجومهم: التخلي عن الأثير كوسط مادي ينتشر فيه الضوء والتخلي عن الفرض بأن الأرض تتحرك «حقيقة» وأن النظام البطليموسي نظام خاطىء «حقيقة».

وكل من هذين الرأيين موصوم بأنه مضاد للمادية لأنهما ينطويان على أن الفيزياء ليست مذهباً بشأن الحركات الموضوعية للأجسام المادية ولكنها مذهب يرتب مشاهداتنا الحسية. وقد ارتبط هذا المذهب دائماً باسم الفيزيائي والفيلسوف النمسوي إرنست ماسن الذي أصبح هدفاً ثابتاً للهجوم في المؤلفات السوفيتية. وقد جاء في دائرة المعارف السوفيتية الكبرى[٢٤] عن الأثير ما يلي:

«تلوذ نظرية النسبية بوصف رياضي بحت وتتهرب من دراسة الوسط الذي توجد به الأمواج الكهرومغنطيسية وهي تتهرب في نفس الوقت من السؤال في موضوعية الظواهر الفيزيائية، أي أنها في موضوع الأثير تقبل وجهة نظر إرنست ماسن».

وكتب الفيزيائي والفيلسوف الروسي اركادي كليمنتو فتش تيمرياسيف[٢٥] يقول:

لا يجرؤ العالم الحديث المستقيم الرأي أن يشك في نظرية أينشتاين. فهو يعتبرها حقيقة مطلقة. إنه يتمسك بالتأكيد بأن كلًا من النظام الكوبيرنيكي والنظام البطليموسي هما نفس الشيء. وهذا رأي لا يتقبله كل شخص لا يستسلم لكل جديد في العلم. إن تعريف النظام البطليموسي والنظام الكوبيرنيكي ليس استنتاجاً استخلصه الفلاسفة المثاليون من نظرية النسبية. وهذا التعريف هو نقطة البداية في نظر أينشتاين كلها. وتشترك هذه النظرية في نقطة البداية هذه مع ماسن الذي اختارها متأثراً بفلسفته الرجعية.

وينص تيمرياسيف وكثيرون غيره من المؤلفين السوفييت على أن الاستنتاجات «المثالية» ليست تفسيرات ميتافيزيائية اختيارية لنظرية أينشتاين، ولكن أينشتاين نفسه بنى هذه النظرية عمداً على نحو يجعل من استخلاص هذه الاستنتاجات أمراً ممكناً لكي تدعم التقاليد العبرية المسيحية التي نشأت خلال محاربة مذهب المادية. ويرى تيمرياسيف أنه لا يمكن تطهير نظرية أينشتاين من هذا التفسير دون تدمير النظرية نفسها. وقد كتب يقول: «إذا حاول المرء أن يحارب هذا التفسير الرجعي لنظرية النسبية فلا بد له أن يحول النظرية تحويلاً جذرياً. أما إذا كان سيتبقى من هذه النظرية شيء يذكر بعد إعادة بنائها فهذا أمر يحتمل الجدل». وفي صدد الأسباب المحددة التي من أجلها يسمي نظرية النسبية بأنها نظرية «مثالية» كتب يقول:

> **لا يحب أينشتاين النص بأن الدوران بالنسبة للأثير أو بالنسبة للفضاء المطلق هو سبب القوة الطاردة المركزية(٢٦). ونحن لا «نرى» الأثير وليست هناك علامات مميزة في الأثير أو في الفضاء المطلق. ولهذا فإن أينشتاين يرى أن الأثير والفضاء المطلق هما مجرد خيال. وذلك لأنهما ليسا مركبين من الإحساسات. وإذا قلنا بأن الدوران بالنسبة للأثير أو بالنسبة للفضاء المطلق هو سبب القوة الطاردة المركزية فإننا نرتكب جرماً في حق قانون النسبية. ذلك لأنه طبقاً لماسن ولأينشتاين فإن هذا القانون يقضي بأن الأشياء المنظورة وحدها هي التي يمكن قبولها كأسباب [ولا شك أن هذا لا يتفق مع الموجة العلمية للنسبية التي سبق تقديمها(٢٧)]. وهما يستبدلان نظام النجوم الثابتة بالفضاء المطلق. وهذه النجوم مرئية ولهذا فهي ليست مجرد خيال. وقد خدم أينشتاين نظرية ماسن، والأمر الأساسي هو أن هناك فرصة للتخلص من النظام الكوبيرنيكي.**

ومن اليسير أن نتبين من هذا أن وصف نظرية أينشتاين بأنها «مثالية» وأنها «دحض للمادية» ليس تأكيداً على التشابه. وعلى أية حال، هناك نقطة واضحة: كل من أينشتاين وماسن يرفض الدوران بالنسبة للفضاء المطلق كسبب للقوة الطاردة المركزية لأن الفضاء المطلق والأثير ليسا جسمين ماديين منظورين. وسوف يميل الكثيرون إلى أن يصفوا هذا الاتجاه الذي يدافع عنه ماسن وأينشتاين بأنه اتجاه مادي. ومن ثم فليس علينا أن نندهش من أن نظرية النسبية يوجه إليها في بعض الظروف اتهام بأنها سند للمادية. ومن شأن هذا الاتهام أن يوجه من قبل تلك

الجماعات التي ناصبت نظريات أينشتاين العداء لأسباب سياسية، والتي كانت في نفس الوقت أعداء لمذهب المادية. وعلينا لذلك أن نتوقع أننا سوف نجد هذا الاتجاه بين من يمثلون الفلسفة التي يدعو إليها الحزب الحاكم في حكومة النازي بألمانيا. وفي إحدى الندوات الحزبية(٢٨) قال أحد المحاضرين:

> إن الصيغة القائلة بأن ظواهر الطبيعة تخضع لمبدأ عام في النسبية ليست إلا تعبيراً عن اتجاه مادي للعقل والروح على نحو جذري... فنظرية النسبية لا يرحب بها سوى جيل ناضج في طرق تغذية أفكاره المادية.

ومن ناحية أخرى، فإن بعض الفيزيائيين في الاتحاد السوفييتي الذين يحبون طابع السخرية الذي يضفيه الكتاب الرسميون على نظرية النسبية، قد انتقدوا أينشتاين لأنه قد استبعد العناصر «المثالية والميتافيزيائية» من ميكانيكا نيوتن وركز على النقاط المادية في نظرية نيوتن. وقد كتب الفيزيائي الروسي الشهير سيرجي ايفانوفتش فافيلوف يقول(٢٩).

> وبالنسبة إلى نيوتن، كان الفضاء موجوداً كمرحلة مفرغة حيث كانت عملية الكون تجري. كان جزء من الفضاء يمتلىء بالمادة، وكان الجزء الآخر مفرغاً. وكان الزمان المطلق موجوداً أيضاً بالنسبة لنيوتن كنوع من «التحرك البحت». ومن الواضح أن هذا النموذج لا يتلاءم مع المادية الجدلية، وليس مقبولاً. وفي الواقع أن المذهب الميتافيزيائي لنيوتن عن المكان والزمان (وما كان ينطوي عليه من فيزياء لم يكن يسترعي كثيراً من الانتباه) قد ظل محجوباً إلى يومنا هذا. ويتمثل قدر أينشتاين في نقده للآراء الميتافيزيائية القديمة بشأن المكان والزمان.

وقد نشرت جريدة التايمز اللندنية مقالاً افتتاحياً عام ١٩١٩ عقب التأكيد الفلكي لنظرية الجاذبية لأينشتاين، ويعتبر المقال تعبيراً عن الرأي العام، وقد جاء فيه: «وفي الواقع أن العلم القائم على المشاهدات قد أعادنا إلى أنقى أنماط المثالية الموضوعية».

٤ ـ كيف تدحض نظرية النسبية المذهب المادي؟

عرفنا كيف كان قادة التربية والسياسة والدين يميلون كثيراً إلى اعتبار نظرية النسبية لأينشتاين سلاحاً لدحض المذهب المادي، وإلى استخدامها أداة فعالة

لإرشاد الناس. وسوف ندرس الآن على نحو أكثر تدقيقاً تلك الأسباب التي اتخذت ضد المذهب المادي، ونتحقق إلى أي درجة هي استنتاجات مستخلصة من الجانب العلمي لهذه النظرية[٣٠]. ولنعرض وندرس الأسباب الأربعة الرئيسية الآتية:

(١) الكون الحقيقي ليس أوقليدياً ثلاثي الأبعاد، ولكنه رباعي الأبعاد وغير أوقليدي.

(٢) يمكن للمادة أن تتحول إلى شيء غير مادي، هو الطاقة الاشعاعية.

(٣) يمكن لأشياء غير مادية مثل انحناء الفضاء أن تنشأ عنها حركة لأجسام مادية ثقيلة.

(٤) لا تتعامل النظرية مع الحركة الموضوعية للأجسام المادية، ولكنها تتعامل مع الحالات العقلية، مع الانطباع الذي تولده الأجسام المادية لدى الأفراد المشاهدين.

ويجري نقاش السبب (١) بوجه عام على النحو التالي: افترض العلم المادي، قبل ١٩٠٠، أن ليس هناك شيء حقيقي في الكون سوى «المادة» بمعناها المعتاد، الذي يفضي بأن المادة هي شيء غير مهذب ثلاثي الأبعاد. ويمكن معاملة المادة بالقواعد التقليدية للهندسة الأوقليدية، وهي شيء يختلف تماماً عما يمكن أن نسميه شيئاً «روحياً» مثل الروح البشرية أو العقل. ومع ذلك، فقد أوضحت نظرية النسبية أن المادة غير المهذبة الثلاثية الأبعاد هي مظهر فقط، في حين أن «الحقيقة» التي تكمن وراءها هي شيء أكثر تهذيباً، فهي وجود متواصل مكاني زماني رباعي الأبعاد، لا يخضع لقوانين الهندسة الأوقليدية، ولكن له «انحناء». ولذلك فإننا عندما نقول «إن الكون ثلاثي الأبعاد» فإننا نقصد أنه كذلك في الزمن الحاضر، أما إذا قلنا «إن الكون رباعي الأبعاد» فإن الزمن هنا ينطوي على معنى شديد التعقيد.

وإذا دققنا في تحليل ما تذكره نظرية النسبية بشأن الوجود المتواصل الرباعي الأبعاد فإننا نجد الدعوى الآتية: يمكن أن نقدم وصفاً لتجربتنا المادية بطريقة

سهلة وعملية إذا استخدمنا الوجود المتواصل الرباعي الأبعاد أكثر مما لو استخدمنا الفضاء الثلاثي الأبعاد والزمن الأحادي البعد كلاً على حدة. وإذا قلنا «بطريقة عملية أكثر» فإننا نعني أن التقديم الرباعي ـ الأبعاد ساعد على نحو أفضل في إيجاد نظريات فيزيائية وجد أنها تتفق مع تجارب القرن العشرين ومشاهداته. ولم يكن من السهل إيجاد نظرية أينشتاين بدون مساعدة نظام الرموز الرباعي الأبعاد.

وفي عام ١٩٠٨ كتب هيرمان منكوسكي مؤلف التقديم الرباعي الأبعاد لنظرية النسبية يقول(٣١): «ومن الآن فصاعداً فإن المكان في حد ذاته والزمان في حد ذاته يتضاءلان إلى ظلال، والربط بينهما هو فقط الذي يمكن أن يكون له وجود مستقل». وعندما نستخدم هذا الفرض وأمثاله يجب ألا ننسى أنها تستخدم بمعنى تماثلي. إننا نتحدث عن الوجود المتواصل المكاني الزماني الرباعي الأبعاد كما لو كان شيئاً مما اعتدناه في تجاربنا اليومية، ونقول إنه «حقيقي» بالمعنى الذي يكون به الشيء المادي شيئاً حقيقياً. ولذلك فإن كل النصوص التي تؤكد على أن الوجود المتواصل الرباعي الأبعاد هو حقيقي أكثر من الأشياء المادية الثلاثية الأبعاد إنما تستخدم كلمة «حقيقي» بالمعنى العلمي البحت باعتبارها مكافئة لكلمة «عملي» أو أننا نستخدمها باعتبارها مجرد مثيل لاستخدام كلمة «حقيقي» بالفطرة السليمة».

والقول بأن التفسير الرباعي الأبعاد لنظرية النسبية يتصادم مع المذهب المادي قول مضلل؛ والصحيح أنه من المستحيل صياغة مبادىء عامة لنظرية النسبية بمدلول لغتنا الفطرية السليمة لأننا لا نستطيع أن نقول بهذه اللغة إن حدثين A، B يقعان في آن واحد لنظام إسناد واحد. ويقول الفريد نورث هوايتهد(٣٢): وينشأ الوضع الجديد في فكر اليوم من أن النظرية العلمية تتجاوز سرعتها سرعة الفطرة السليمة. فإدخال نسبية التزامن كان ضربة عنيفة للغة الفطرة السليمة على مستوى المبدأ العلمي العام. كتب هوايتهد يقول: «إن ما أنجزه العلم السابق هو أنه هذب الآراء العادية للناس العاديين». أما نظرية النسبية فقد أعادت صياغة هذه الأفكار على نحو جذري.

بهذا المعنى، وبهذا المعنى وحده، يجب أن نفهم النص القائل بأن نظرية النسبية تدحض مذهب المادية. يقول هوايتهد: «إن نسبية التزامن ضربة عنيفة

لمذهب المادية الكلاسيكية، التي تفترض سلفاً لحظة راهنة محددة تكون كل المادة عندها حقيقية في آن واحد. ومثل هذه اللخطة الراهنة الفريدة غير موجودة في النظرية الحديثة». ولما كان تعبير «كل المادة الموجودة في الكون في اللخطة الراهنة» هو المفهوم الأساسي للمادية التقليدية، فإن هذا المذهب سوف ينطوي على أن كل مبادىء العلم يمكن أن تصاغ بلغة الخبرة اليومية، وبما أنَّ نظرية النسبية قد أوضحت أن هذا ليس هو الحال فإنها قد «دحضت» المادية؛ لقد أوضحت أن المعنى الفطري السليم «للمادة» لا يمكن أن يكون الأساس المفاهيمي للعلم.

ولا يمكن أن تقدم نظرية النسبية بلغة الفطرة السليمة، لأن المرء لا يمكنه مثلًا أن يقول بهذه اللغة إن للمنضدة أطوالاً تختلف باختلاف نظم الإسناد. وإذا شئنا أن نقدم نظرية النسبية بلغة الفطرة السليمة فإننا نستطيع أن نفعل ذلك فقط بطريقة التماثل. وكما سبق أن ذكرنا، يجب أن نقول مثلاً إن الكون «هو» في الحقيقة رباعي الأبعاد. وإذا نسينا أن هذه اللغة ليست لغة علمية «عامة» (Universal) فسوف ننزلق إلى متاهات وعرة. ومن الأمثلة الواضحة على هذا التشويش تفسير نظرية النسبية على أنها سند «للإيمان بالقضاء والقدر» أو «القدرية». ويجري البرهان على النحو التالي: يمكن لحادث يقع في الحاضر بالنسبة لنا (مثل موت شخص) أن يكون قد وقع في الماضي بالنسبة لنظام إسناد آخر، ومن ثم فإنه يكون قد سبق تقرير وقوعه. ومثل هذا البرهان يستخدم لغة التماثل. فقد استخدم التعبيرين «في الحاضر» و«في الماضي» كما يستخدمان في لغة الفطرة السليمة؛ غير أن الحدث المذكور قد وقع مرة واحدة في حقيقة الأمر، وبتعبير علمي دقيق، نقول إن الساعتين اللتين تنطبقان على الحادث يشير عقرباهما إلى موضعين مختلفين إذا كانت إحداهما تتحرك بسرعة مختلفة عن سرعة تحرك الأخرى.

وقد سبق مناقشة السبب (٢)[٣٣]. ومن المؤكد أن «المادة» غير باقية إذا استخدمنا لفظ «المادة» كما يستخدم في لغة الفطرة السليمة أو في الفيزياء القديمة. ومن المؤكد أن «المادية قد دحضت» إذا كنا نعني «بالمادية» فكرة أن المادة، بمعنى الكلمة في الفطرة السليمة، تملأ الكون منذ الأزل وستظل كذلك حتى الأزل.

والنقطة (٣) التي تقضي بأن حركة الأجسام المادية يمكن أن تنشأ عن «انحناء الفضاء» وهو صفة غير مادية، يمكن أيضاً أن نعتبرها دحضاً «للمادية» إذا كنا نعني بهذه الكلمة أن كل قوانين الطبيعة يمكن أن تعبر عنها لغة الفطرة السليمة. والنص بأن «انحناء الفضاء» صفة «غير مادية» يحتوي على لفظ «غير مادي» (أو لا مادي) وهو مأخوذ عن لغة الفطرة السليمة، وبمقتضاه فإن أي شيء غير جلي ومحسوس، مثل الحجر أو الفيل يكون غير مادي.

ويمكن إجمال ما سبق فنقول إن الحجج (١)، (٢)، (٣) تدحض الرأي القائل بأن كل قوانين الطبيعة يمكن التعبير عنها بلغة الفطرة السليمة؛ ومن المؤكد أن سبب هذا الدحض هو نظرية النسبية لأينشتاين. وقد أكد أينشتاين[٣٤] نفسه على ذلك عندما أوضح أن النظرية العامة للنسبية قد أظهرت أن السمة المميزة لفيزياء القرن العشرين هي أن منظومة المفاهيم التي يمكن أن تصاغ بها القوانين العامة للطبيعة تختلف كثيراً عن منظومة المفاهيم التي نصف بها خبرتنا اليومية وصفاً مناسباً، وهذا الاختلاف يزيد عما كان مفترضاً في القرنين الثامن عشر والتاسع عشر. وقد أكد أينشتاين على أنه:

تزداد الشقة الفكرية اتساعاً بين المفاهيم والقوانين الأساسية من جهة والاستنتاجات التي يجب ربطها بخبراتنا من جهة أخرى، وهو اتساع يتزايد كلما أصبحت البنية المنطقية أكثر بساطة ـ أي كلما قل عدد العناصر المفاهيمية المستقلة منطقياً والتي تلزم لتعزيز هذه البنية.

وفيما يخص الحجة(٤) يجب أن تدرس بأي معنى يمكننا اعتبار نظرية النسبية مذهباً بشأن الانطباعات الحسية في الوقت الذي تتعامل فيه ميكانيكا نيوتن مع الحقائق الموضوعية. ولا شك أننا نستطيع صياغة أي تقرير عن تجاربنا بحيث يكون نصاً بشأن المشاهدات الحسية أياً كانت النظرية التي نوجه بها التجربة. وقد تعودنا بالطبع منذ طفولتنا أن نصف تجاربنا بأن ندخل «أجساماً مادية» بدلاً من المشاهدات الحسية. فنحن نقول إننا نرى «منضدة» ولا نقول إننا نرى مجموعة من النقط الملونة. وإذا قلنا إن طول المنضدة ثلاثة أقدام بالنسبة لنظام الإسناد (S)، فإننا نعني بذلك أن المنضدة تشغل المسافة بين علامتين (الصفر وثلاثة) على مسطرة

صلبة تتحرك بنفس سرعة تحرك النظام (S). وهذا نص بشأن سلوك جسم صلب، وهو شبيه تماماً بالنص «طول هذه المنضدة ثلاثة أقدام»، المستخدم في الفيزياء التقليدية. والاختلاف الوحيد هو أن سرعة المسطرة محددة في الميكانيكا النسبية لأن نتيجة القياس تتوقف على هذه السرعة.

ويجب أن نلاحظ أننا في هذه النصوص نتحدث فقط عن المناضد والمساطر ولا نذكر أبداً «المشاهدين الأحياء». والمشاهد قد يكون متحركاً بأي سرعة. وسوف يشهد دائماً انطباق حوافي المنضدة على علامات المسطرة. فليس هناك عنصر ذاتي في نصوص الميكانيكا النسبية. وقد ظهرت الذاتية فقط عند محاولة صياغة فروض نظرية النسبية من خلال بعض التماثلات مع نصوص الفطرة السليمة. فبدلاً من أن يقال «الطول بالنسبة لنظام إسناد» وهو تعبير غير وارد في لغة الفطرة السليمة، فقد استخدمنا التعبير «الطول بالنسبة لمشاهد في النظام (S)». وعندئذ يمكننا أن نقول إن «طول المنضدة يختلف باختلاف المشاهدين». وقد تشكل التعبير «بالنسبة لمشاهد» بالتماثل مع الطريقة التي نعبر بها في لغة الفطرة السليمة عن أن الشيء قد يبدو مختلفاً للمشاهدين المختلفين لأسباب تتعلق باختلاف المنظور، أو بالخداع البصري، أو بضعف العينين. وباستخدام هذا التماثل نكون قد أدخلنا في عرضنا لنظرية النسبية تماثلات للغة الفطرة السليمة وهي تماثلات مفيدة على وجه التأكيد لأنها تأتي بعنصر حدسي معين. ومع ذلك فإن هذه التماثلات تصبح ضارة إذا نسينا أنها تماثلات واعتبرناها نصوصاً علمية دقيقة. ويمكن بسهولة أن نفهم هذا الاختلاف عندما نضيف التعريف التشغيلي إلى كل نص(٣٥). وسوف يلاحظ عندئذ أن تماثلات الفطرة السليمة إما أن تصبح غير ذات معنى وإما أن تتخذ معنى يطابق العرض في اللغة العلمية الدقيقة. فمثلاً سوف يختفي «المشاهد» كلية أو تستبدل به مسطرة أو ساعة.

ويقال إن نظرية النسبية قد أحالت الفيزياء إلى نصوص بشأن الظواهر العقلية، ومن ثم فقد دحضت المذهب المادي. وإذا صح ذلك عن نظرية النسبية فإنه يكون صحيحاً بالنسبة لكل النظريات الفيزيائية. وبهذا المعنى تتعامل كل نظرية فيزيائية مع الانطباعات الحسية وهي أشياءعقلية، وبهذا المعنى فإن كل

نظرية فيزيائية تدحض المذهب المادي. ومع ذلك، فمن المهم أننا لا يمكن أن نعثر في نظرية النسبية على حجة إضافية في صف المثالية أو ضد المادية.

٥ ـ هل نظرية النسبية نظرية عقائدية؟

كثيراً ما نُصَّ على أن الصفة المميزة للعلم الحديث هي أن النصوص والنظريات والمبادىء العامة قد فرضتها علينا الحقائق المنظورة، في حين أن النصوص والمبادىء العامة في العصر القديم والعصور الوسطى كانت تعتبر جلية في حد ذاتها وكانت مقبولة لدى كل من يفهم معناها. وقد صاغ الفيزيائي الألماني جوهانز ستارك الاختلاف التالي[٣٦]:

> تقدمت الروح الذرائعية تقدماً مستمراً نحو اكتشافات جديدة ومعارف جديدة. وتؤدي الروح العقائدية إلى كبت جماح الأبحاث التجريبية وإلى الاهتمام بالآداب التي كانت مسرفة في العواطف بقدر ما هي مرهقة وغير مثمرة، وهي في جوهرها مثيلة للعقائدية الكهنوتية في العصور الوسطى التي كانت مضادة لإدخال العلوم الطبيعية الذرائعية.

ويستشهد الكاتب بنظرية النسبية لأينشتاين كمثال نموذجي للروح العقائدية في العلم لأن النظرية تبدأ من الاعتقاد بأن «سرعة الضوء لا تتغير بالنسبة لكل نظم الإسناد» وتحاول أن تعدل الفيزياء كلها لتنضبط مع هذه العقيدة. وطبقاً لما يرى ستارك، ليس هذا الترتيب ترتيباً ذرائعياً لأن كل خبراتنا المألوفة لا تتفق مع هذه العقيدة، ولا يمكن التوفيق بينهما إلا من خلال افتراضات مفرطة في الاصطناع مثل انقباض المساطر أو تأخر الساعات نتيجة للحركة.

وإذا نظرنا إلى نظرية النسبية من «الوجهة العلمية» نجد أنها ليست عقائدية أكثر من أي نظرية فيزيائية أخرى. وقد وجهنا انتباه القارىء عدة مرات إلى أن المبادىء العامة في الفيزياء كانت منذ عام ١٦٠٠، وعلى الأخص منذ عام ١٩٠٠، مختلفة جداً عن النصوص التي يمكن صياغتها بلغة الفطرة السليمة. ومن بين هذه النصوص لدينا على وجه خاص مبادىء نظرية النسبية لأينشتاين. ومن الواضح على وجه التأكيد أن مبدأي الثبات والنسبية اللذين يؤلفان العمود الفقري لنظرية النسبية لأينشتاين[٣٧] لا يمكن استنباطهما من الحقائق المكتسبة من خبرتنا، أو حتى

من التجارب التي يعدها ويجريها علماء الفيزياء. ومع ذلك، إذا وصفنا هذه المبادىء بأنها عقائد فإن علينا أيضاً أن نصف مبدأ القصور الذاتي بأنه «عقيدة». فعندما قدم جاليليو ونيوتن هذا المبدأ كان أيضاً مخالفاً جداً لخبرة الفطرة السليمة ولم يكن ليقبل إلا لأن الاستنتاجات المستخلصة منه كانت متفقة مع المشاهدات الواقعية. وفي كتاب دراسي عن «الفلسفة الطبيعية» (أي الفيزياء) ألف منذ مائة عام، يقول المؤلف، عن صدق، إن قانون القصور الذاتي قد وجد تأييداً كافياً عندما أمكن أن يستنبط منه معدل تذبذب البندول كدالة لطوله، ولأننا لا نعرف مبدأ آخر يمكننا أن نستنبط منه هذا المعدل. وبنفس الطريقة، لا يستمد مبدأ الثبات ومبدأ النسبية قوتهما من كونهما معقولين أو جليين، ولكنهما يستمدانها من اتفاق نتائجهما مع المشاهدات الواقعية. ومن ثم، فإذا كان مبدآ أينشتاين مبدأين عقائديين فإن قانون القصور الذاتي وقوانين الحركة لنيوتن تكون جميعاً قوانين عقائدية أيضاً.

وفي الواقع أن كل نظرية فيزيائية هي «عقائدية» كنظام شكلي و«ذرائعية» كمنظومة نصوص بشأن التجارب الواقعية. وهناك بالطبع اختلاف نوعي في أن النظرية تبدو أكثر «عقائدية» كلما زاد اختلاف المبادىء مع الخبرة الحسية الواقعية وهذا يعني بدوره أن المبادىء تبدو أكثر «عقائدية» كلما زاد تطابقها مع الخبرة الحديثة البعيدة عن خبرة الحياة اليومية. ومع ذلك فإن النص بأن مبدأي أينشتاين هما أكثر «عقائدية» من نظريات الفيزياء التقليدية، هذا النص قد فسر بواسطة تماثلات مأخوذة من خبرتنا اليومية. وقد فسرت كلمة «عقائدي» بأنها تعني أن هذه العقائد (وهي في حالتنا هذه مبدأ الثبات ومبدأ النسبية) قد فرضت على العلماء بواسطة السلطات، كما فرضت العقائد السياسية والدينية على الناس في بعض الأحيان. واقتفاء لهذا التماثل الفطري السليم، كثيراً ما تردد أن المشايعين لنظرية النسبية قد توقفوا عن الأبحاث الجادة والورعة بحثاً عن قوانين الطبيعة، فهم لم يعودوا يبحثون عن قوانين الطبيعة بالتمعن في الطبيعة ولكنهم يفعلون ذلك بإرغام الطبيعة على قبول القوانين التي يرغب الفيزيائيون أن يفرضوها عليها.

وكما حدث في أعقاب كل تغير جذري يطرأ على العلم، نشأت منذ عام ١٩٠٠ «فلسفة» تفسر التباعد المتزايد بين العلم ومفاهيم الفطرة السليمة على أنه

نوع من الاتجاه الشيطاني يزيد من التباعد بين الإنسان وخلفيته «الطبيعة». وكما سوف نرى فيما بعد في مزيد من التفصيل، كان كل تفسير ميتافيزيائي يخدم غرضاً أخلاقياً أو دينياً أو سياسياً. كان التفسير، بوجه عام يساند خطة ما لتوجيه السلوك البشري نحو أهداف مبتغاة. وفي هذا الصدد فسرت الشقة المتزايدة الاتساع تدريجياً بين مفاهيم النظرية وبين مفاهيم الفطرة السليمة المباشرة على أنها محاولة «شريرة» لتقويض صلة الإنسان بالطبيعة، ولكي تقوده بهذه الطريقة إلى الانحراف الأخلاقي والديني.

ويمكن أن تقتبس، على سبيل المثال، من الفيلسوف الألماني لودفيج كليجز[٣٨] الذي نشر كتاباً اتسع انتشاره وتأثيره في ذلك الحين، عن نمط المذهب المضاد للعقلانية والذي لقي ترحيباً من بعض العقلانيين. كان الكتاب ينتمي إلى ذلك النمط من الفلسفة التي تستلين الألمانيين وغيرهم من أبناء القارة الأوروبية وتهيئهم لتقبل الفلسفة النازية المقبلة. يرى كليجز أن نظرية النسبية تكشف، حتى لمن على أعينهم غشاوة، عن القوة المستترة بعقلية القرن العشرين في اندفاعها نحو البحث عن المعرفة. «لم تعد هذه العقلية تبحث عن قوانين الطبيعة، إنها تفرض وفقاً للهوى والميل. فالعقل بالتأكيد غير منطقي بقدر انفصام اتجاهه نحو الحقيقة عن الاعتباطية».

وفي زمن النظام النازي كان الاعتقاد بأن نظرية أينشتاين نظرية عقائدية اعتقاداً سارياً في «الخط الحزبي» للحزب الحاكم. وفي مقال نشر في Journal for the Whole of Natural Science للدفاع عن خط الحزب بالنسبة للعلم، يصف الكاتب السمات غير الصحية التي ظهرت في فيزياء القرن العشرين فيقول:

> مالت الصلة بين التجربة والنظرية لمصلحة الأخيرة. وفضلاً عن ذلك فقد رسمت النظرية بطريقة شكلية بحتة دون اعتبار لأنماط الفكر والحدس البشري، ودون تفكير منهجي دقيق.

ويقتبس الكاتب نظرية النسبية لأينشتاين كأوضح مثال على التركيب العقائدي للنظريات.

> إن نقطة البداية في هذه النظرية عقيدة، وأعني بها مبدأ ثبات سرعة الضوء.

فسرعة الضوء في الفراغ يجب أن تكون ثابتة، مستقلة عن حركة المصدر أو حركة المشاهد. وقد زعم خطأ أن ذلك إحدى حقائق المشاهدة.

إن وضع النظريات «العقائدية» والدفاع عنها، مثل نظرية النسبية لأينشتاين قد عُزي في كثير من الحالات إلى نمط معين من العقل الشرير، الذي حاول أن يحرف الإنسان عن الطبيعة وأن يوجهه نحو شرك مصطنع أعده أعداؤه. وطبقاً لخط الحزب، فسر التمييز بين النمط «الذرائعي» والنمط «العقائدي» للعلم في ضوء الاختلافات العنصرية بين العلماء.

٦ - حواشي الفصل [٧]

١ - «Physics» لأرسطو، عن «The World of Aristotle» ترجمة و. د. روس (لندن: مطبوعات جامعة أوكسفورد، ١٩٠٨ - ١٩٥٢)، المجلد ١١.

٢ - سان توماس أكويناس «Summa Theologica»، ترجمة آباء مقاطعة الدومينيكان الانجليزية (نيويورك: اخوان بنزيجر: ١٩٤٧) الجزء ١.

٣ - انظر الفصل ٣، الحاشية ١١.

٤ - في كتابه «Metaphysische Anfangs Gründe der Naturwissenschaft» (١٧٨٧) (مبادىء ميتافيزيائية للعلوم الطبيعية) الجزء ٣، «مبادىء ميتافيزيائية للميكانيكا».

٥ - انظر الفصلين ٩، ١٠.

٦ - كانت، نفس المرجع.

٧ - جيمس كلارك مكسويل «Matter and Motion» (١٨٧٧) الفصل ٣ البند ٢٧.

٨ - انظر الفصلين ٤، ٥.

٩ - أرنست ماش، «The Science of Mechanics» (شيكاغو: .Open Court Publishing Co، ١٨٩٣).

١٠ - هربرت سبنسر «Synthetic Philosophy» المجلد ٢، «First Principles» الجزء ٢، الفصل ٤.

١١ - نفس المرجع، صفحة ٣٥٢-٣٥٤.

١٢ - انظر الفصل ٥، قسم٨.

١٣ - انظر الفصلين ٥، ٦.

١٤ - ادموند دير سينوت، «Two Raods to Truth: A Basis for Unity Under the Great Tradition»، (نيويورك: مؤسسة مطبوعات فايكنج، ١٩٥٣).

١٥ - بيتريم بوروكين «Social and Culural Dynamics» (نيويورك: شركة الكتاب الامريكية، ١٩٣٣).

١٦ - هنري بيرجسون، Time and Free Will (لندن، ١٩٠١)، (ظهر الأصل الفرنسي عام ١٨٨٨).

١٧ - في مقالة عن «النسبية» في دائرة المعارف البريطانية.

١٨ - لنكولن بارنيت، «The Universe of Dr. Einstein» (لندن: جورج ج. مكلويد، ١٩٤٨) أعيد طبع هذا الكتاب الممتاز على شكل «طبعة للجيب».

١٩ ـ انظر الفصل ٥، قسم ٨.

٢٠ ـ ماري بيكر ايدي (١٨٢١ ـ ١٩١٠) مؤسسة العلوم المسيحية، «Scien and Health» (بوسطن: ارمسترونج، ١٨٩٧).

٢١ ـ هربرت ولدون كار، «A Theory of Monades, Outlines of the Philosophy of the Principle of Relativity» (ليرن: ١٩٢٢).

٢٢ ـ انظر الفصل ٥.

٢٣ ـ في مقال عن المادية في طبعة ١٩٣٦.

٢٤ ـ في الطبعة الأولى (قبل الحرب).

٢٥ ـ في مقال عن «The Theory of Relativity as a Source of Philosophical Idealism» «تحت شعار الماركسية» (١٩٣٨).

٢٦ ـ انظر الفصلين ٩، ١٢.

٢٧ ـ في نفس المرجع.

٢٨ ـ ألقيت في معسكر الاتحاد الاشتراكي (النازي) القومي للطلاب (١٩٣٦).

٢٩ ـ في «The New Physics and Dialectical Materialism» (تحت شعار الماركسية» (١٩٣٨).

٣٠ ـ كما قدمت في الفصلين ٥، ٦.

٣١ ـ جرمان مينكوسكي (١٨٦٤ ـ ١٩٠٩) رياضي الماني.

٣٢ ـ في «Science and the Modern World» (نيويورك: شركة مكميليان، ١٩٢٥) الفصل ٨ ـ استخدم باذن من الناشرين.

٣٣ ـ انظر الفصل ٥، قسم ٨.

٣٤ ـ في محاضرته (هربرت سبنسر) التي ألقاها في أكسفورد عام ١٩٣٣ والتي طبعت في «On the Method of Theoretical Physics» (أوكسفورد: مطبعات كلانيرون ١٩٣٣).

٣٥ ـ نوقش دور النظرية التشغيلية في نسبية أينشتاين مناقشة جيدة في الفصل ٥، القسم ٦.

٣٦ ـ في مقال في المجلة البريطانية «Nature» (١٩٣٨).

٣٧ ـ انظر الفصل ٥، قسم ٥.

٣٨ ـ لودفيج كليجز (١٨٧٢ ـ)، سيكلوجي وفيلسوف الماني. أكثر كتبه الفلسفية انتشاراً هو «Der Geist als Widersacher der seele» (العقل كخصم للروح). (١٩٢٩).

[٨]
حركة الأشياء الذرية

١ ـ نيوتن لم يكن نيوتونياً

أصبح من الثابت بدرجة كبيرة من التأكيد في النصف الأول من القرن التاسع عشر أن جميع ظواهر الفيزياء (بالمعنى العريض لهذه الكلمة) يجب وصفها بواسطة خطة للجسيمات المتحركة التي تخضع لقوانين الحركة لنيوتن. ومعنى هذا أن الجسيمات تتحرك من تلقاء نفسها بسرعة ثابتة في خطوط مستقيمة بالنسبة «لنظام قصوري»؛ فإذا كانت هناك قوة تؤثر على الجسيم، فإن انحرافه يكون متناسباً عكسياً مع «الكتلة» الثابتة لكل جسيم. وقد غيرت النظرية الخاصة للنسبية هذا النموذج في الوصف بإدخال تغيرات في الكتلة تعتمد على تبادل الطاقة بين منظومة الجسيمات والبيئة المحيطة بها. ولا تستخدم النظرية العامة للنسبية «نظاماً قصورياً» كأساس لها؛ إنها تعتبر التحركات التي تعزوها خطة نيوتن «لقوة الجاذبية» تحركات تلقائية.

وإذا نظرنا إلى هذه «التغيرات النسبية» في خط نيوتن من وجهة نظر فيزياء اليوم، فإنها تبدو تغيرات طفيفة فقط. ولذلك فإن من المهم جداً أن نفهم كيف

تغيرت الخطة النيوتونية تغيراً جذرياً عندما بدأ العلم يتعامل مع تحـركات الجسيمات الصغيرة جداً. وسوف نرى أن هذه التغيرات أساسية إلى الحد الذي يصعب علينا معه أن نقول ما إذا كنا نستطيع أن نستخدم التعبير «حركة الجسيم».

ويبدو معنى النص «حركة الجسيم» واضحاً جداً في نطاق لغتنا اليومية. ولنتخيل وسطاً مرناً متجانساً ذا كثافة صغيرة جداً وأن هذا الوسط يملأ كل الفضاء الكوني، وأن أعلى كثافة للوسط تقع عند نقطة واحدة، P_0. بمرور الزمن سوف تنتقل هذه الكثافة العالية من P_0 إلى P_1 ثم P_2 . . . إلخ. ليست هناك جسيمات تنتقل من مواضعها، ولكن صفة معينة (الكثافة) هي التي تنتشر؛ ولكن العملية ككـل (أي انتشار الكثـافة العـالية خـلال الوسط) لا يمكن بـالمشـاهـدة أن نميـز بينهـا وبـين التحـرك الحقيقي للجسيم. فكـل من العمليتـين يمكن وصفهـا بمسـاواة ثلاث إحداثيـات x, y, z للجسيم أو للكثافـة العـاليـة مـع دلائل للزمن t: $x=x(t), y=y(t), z=z(t)$.

وإذا أضفنا الظاهرتين بلغتنا اليومية، فإننا نقول في إحدى الحالتين إن «الجسيم يتحرك»، بينما نقول في الحالة الثانية إنه «ليس هناك جسيم يتحرك». وكل من الوصفين هو صورة فطرية سليمة للظاهرة المشهودة، وإذا لم يكن لدينا سوى الدلائل الثلاث $x(t), y(t), z(t)$ فإننا لا نستطيع أن نقرر أياً من الصورتين هي الصورة «الحقيقية». فالترتيبات العملية التي نختبر بها وجود جسيم عند نقطة معينة x, y, z هي نفس الترتيبات لاختبار وجود كثافة عالية. ولكي نتخذ مثل هذا القرار يجب أن نعرف قوانين «الحركة الحقيقية» وقوانين «انتشار الكثافة». ويمكننا عندئذ أن نستنبط من هذه القوانين نتائج مشهودة قد تختلف من حالة إلى أخرى. والاختيار بين الفرضين هو اختيار بين منظومتين من القوانين. وإذا وصفنا ظاهرة فيزيائية معينة «كجسيمات متحركة» فإن هذا الوصف لا يعني كثيراً ما لم نضف إليه القوانين التي تتحرك هذه الجسيمات طبقاً لها.

وقد اعتبرت حركة الجسيمات المتوسطة الحجم خاضعة لقوانين الحركة لنيوتن منذ نشر نيوتن هذه القوانين. ومع ذلك فإن نيوتن لم يكن متأكداً من أن هذه القوانين تصلح لكل الأنواع الممكنة من الأجسام ومنها الجسيمات الصغيرة

على سبيل المثال. وطبقاً للفرض القديم المعروف لدى اليونان، فإن الضوء ينبعث من الأجسام المشعة على شكل حشد من الجسيمات الصغيرة، أصغر كثيراً من الأجسام الموجودة في محيطنا العادي. ولم يزعم نيوتن مطلقاً أن هذه الجسيمات الصغيرة تتحرك طبقاً لقوانينه الثلاثة عن الحركة. وقد عبر عن نفسه في كثير من الحذر في كتابه Opticks[1]:

إني أفهم عن أشعة الضوء أصغر اجزائها... فإن من الواضح أن الضوء يتألف من أجزاء، متعاقبة ومتعاصرة؛ لأنك تستطيع في نفس المكان أن توقف ما يأتي في إحدى اللحظات، وأن تسمح بمرور ما يأتي في اللحظة المناسبة... إن ما أسميه شعاع ضوء هو أقل ضوء أو جزء من الضوء يمكن أن يوقف وحده دون بقية الضوء، أو ينتشر وحده، أو يفعل أو يعاني وحده أي شيء لا يفعله أو يعانيه بقية الضوء.

لم يحدد نيوتن شعاع الضوء على أنه مسار جسيم أو مسار الكثافة الكبرى. إنه لا يستنبط شكل هذا المسار من قوانين الحركة لجسيم أو غيره. إنه يضع مجموعة من البديهيات تحدد شكل هذه المسارات. وهو يصف «قابلية أشعة الضوء للانكسار» على أنها «استعداد هذه الأشعة لأن تنحرف من طريقها عندما تخرج من وسط شفاف لتدخل في وسط شفاف آخر». وهو يضع أيضاً صياغة البديهية بأن «نسبة جيب زاوية السقوط إلى جيب زاوية الانكسار هي نسبة ثابتة أو هي كذلك على نحو قريب جداً». وإذا رمزنا إلى هذه النسبة بالرمز n (معامل الإنكسار)، ورمزنا إلى زاويتي السقوط وزاوية الإنكسار بالرمزين α ، α' على الترتيب فإن البديهية تنص على أن $\frac{\sin\alpha}{\sin\alpha'}$ وإذا مر الضوء من الهواء إلى الماء فإننا نعلم بالتجربة أن $\alpha' < \alpha$ أي أن $n>1$. وتنطوي هذه البديهية على أن شكل شعاع الضوء في الوسط المتجانس (هواء أو ماء) يكون خطاً مستقيماً.

ومع ذلك، فلكي يصف قوانين الأهداب (الحزوز) المضيئة والمظلمة التي تحدث عندما تمر أشعة الضوء خلال لوح رقيق شفاف، وضع نيوتن بديهية بشأن إنكسار الضوء الساقط الذي يعبر الحد الفاصل بين وسطين:

عندما يمر أي شعاع من الضوء خلال سطح كاسر فإنه يكون في حالة وقتية معينة تتكرر بعد فترات متساوية أثناء تقدم الشعاع وتهيىء الشعاع عند كل مرة تعود

فيها لأن ينفذ بسهولة خلال السطح العاكس التالي . . . . وسوف أسمي عودة هذه الحالة «تجهيزات الشعاع للنفاذ السهل» وأسمي المسافة التي يقطعها الشعاع بين عودة الحالة والعودة التالية لها «بفترة التجهيز»[٢].

هذه الفترة هي ما نسميه اليوم «طول الموجة» لشعاع الضوء. ولا يمكننا بالتأكيد أن نقول إنه طبقاً لكتاب Opticks لنيوتن يمكن تحديد حركة جسيمات الضوء بواسطة قوانين الحركة الثلاثة لنيوتن. وإذا استخدمنا المصطلحات الحالية فسوف يصعب علينا أن نقرر ما إذا كانت هذه النظرية نظرية جسيمية أو نظرية موجبة للظواهر الضوئية. ومع ذلك، فقد أحس نيوتن إحساساً واضحاً أنه سيكون من الأفضل أن تستنبط ظواهر أشعة الضوء من فرض يقول بأنها مسارات لجسيمات أو مسارات للكثافة العالية خلال الوسط. وقد نص نيوتن في كتابه Opticks بوضوح على أن غرضه كان منصباً على أن يضع مقترحات بفروض تشرح خواص الضوء وأن يثبت هذه الفروض بالعقل والتجربة، ولم يكن غرضه أن يشرح هذه الخواص بواسطة الفـروض. ومن المهم أن نلاحظ أن نيوتن يسمي الطريقة التي استخدمناها في تقديم الهندسة في (الفصل ٣) «البرهان بالعقل والتجربة»، بينما يعني «بالشرح بواسطة الفروض» في حالة كتاب Opticks، استنباط الحقائق المنظورة من نظرية حركة الجسيمات أو من نظرية انتشار الكثافة الكبرى.

ويناقش نيوتن كلاً من الاحتمالين في «تساؤلاته» التي وردت في آخر كتابه Opticks. من المؤكد أن الفرض الأوضح لدى نيوتن هو أن جسيمات الضوء كانت تتحرك طبقاً لقوانينه الثلاثة عن الحركة. وفي هذه الحالة يجب أن نفترض قانوناً للقوى التي تؤثر بها جسيمات الوسط (ماء أو هواء) على جسيمات الضوء التي تعبر هذا الوسط. وقد استنبط نيوتن بهذه الطريقة قانون الانكسار. فإذا كانت سرعة جسيمات الضوء في الهواء هي c وفي الماء ć، فقد وجد نيوتن أن الضوء يتسارع في الماء بسبب القوى التي تؤثر بها جسيمات الماء على الضوء ومن ثم فإن ć>c. وأمكن لنيوتن عندئذ أن يثبت أن $\sin\alpha/\sin\acute{\alpha}=\acute{c}/c>1$. وعندئذ يسهل أن نستنتج من قانون القصور الذاتي أن شعاع الضوء يتحرك مستقيماً في الوسط المتجانس.

وإذا أردنا أيضاً أن نستنبط الأهداب المضيئة والأهداب المعتمة التي تنشأ عندما يمر شعاع ضوء خلال لوح شفاف رقيق، فإننا لا يمكننا أن نستنبط هذه النتيجة من قوانين الحركة الثلاثة لأن هذه القوانين لا تفسر ما سماه نيوتن «تجهيزات النفاذ السهل». ومن ثم فقد اقترح نيوتن قانوناً إضافياً:

> ولا يتطلب وضع أشعة الضوء في تجهيزات الانعكاس السهل أو الانبعاث السهل، أكثر من أن تكون الأشعة أجساماً صغيرة (جسيمات) تؤثر قوتها التجاذبية أو أي قوة أخرى، على ما تسقط عليه فتثير فيه ذبذبات أسرع من الأشعة ولذلك فهي تتجاوز هذه الأشعة على التعاقب وتنشطها، فتزيد سرعتها ثم تقل ويتكرر ذلك، ومن ثم توضع هذه الأشعة في تجهيزاتها[٤].

ومن المؤكد أن هذه النتيجة لا يمكن استنباطها من قوانين الحركة الثلاثة لنيوتن لأن فترة (زمن الدورة) للتجهيزات لا وجود لها في أي قانون للقوة. ولذلك، فلا شك في أن نيوتن لم يفكر في أن قوانينه للحركة كانت كافية لاستنباط حركة جسيمات الضوء. وقد اقترح إضافة تحمل بعض الشبه لميكانيكا الموجات لدى برولوي.

٢ ـ «التجربة الحاسمة» ضد النظرية الجسيمية للضوء

بالإضافة إلى النظرية الجسيمية، كانت توجد نظرية بديلة في زمن نيوتن، وقد استنبط قانون الانكسار والقوانين الأخرى للضوء من الفرض القائل بأن الضوء هو انتشار للكثافات الكبرى أو، بتعبير أعم، هو انتشار لتكاثفات (أو تضاغطات) تحدث في الوسط المرن الذي يملأ كل الفضاء الكوني. فإذا نشأت الكثافة الكبرى عند نقطة P في هذا الوسط، فإن هذه الكثافة سوف تتمدد في سطوح كروية ذات كثافة متساوية وتقع النقطة P عند مركز هذه السطوح. ولذلك فليس من السهل أن نفهم كيف يتسنى لهذه النقطة ذات الكثافة الكبرى أن تتحرك في خط مستقيم كما تفعل أشعة الضوء.

وهذا الفرض بأن الضوء يتكون من انتشار تكاثفات أو تضاغطات خلال الوسط، قد طوره هيجنز[٥] إلى نظرية يمكن أن تستنبط منها قوانين الانعكاس والانكسار، بما في ذلك الحالة الخاصة للأشعة المستقيمة. ولكي يحقق هيجنز هذه

النتيجة كان عليه أن يضع فرضاً يبين لنا الظروف التي تجعل التضاغطات تلاشي بعضها البعض أو تقوي بعضها البعض. وقد عرف هذا الفرض بمبدأ هيجنز وقد استمر تدريسه منذ ذلك الحين في كل مقررات الفيزياء الأولية. وكان نيوتن يرى أن فرضاً جديداً لم يكن يبدو جديراً بالتزكية إذا لم يكن قادراً على تفسير «أبسط الظواهر» (وهي ظاهرة الشعاع المستقيم) بطريقة بسيطة. كتب نيوتن يقول(٦):

> **أليست كل الفروض خطأ، تلك التي تفترض بأن الضوء يتكون من ضغط أو حركة منتشرة خلال وسط مائع؟... لأن الضغط أو الحركة لا يمكنهما أن ينتشرا في الوسط المائع في خطوط مستقيمة عبر عائق يوقف جزءاً من الحركة، ولكنه ينحني... بعد العائق.**

وينتج من ميكانيكا الموائع أن سرعة الانتشار (c) في الهواء أكبر من السرعة (ć) في الماء؛ $\acute{c} < c$. وقد استنبط هيجنز النص بأن أشعة الضوء عندما تنتقل من الهواء إلى الماء فإنها تنكسر طبقاً للقانون $\sin\alpha/\sin\acute{\alpha}=n=c/\acute{c}>1$ فمعامل الانكسار n أكبر من 1 كما هو مشاهد بالتجربة وكما هو مستنبط من النظرية الجسيمية. ومع ذلك فإن هذه النظرية تؤدي إلى أن $n=c/\acute{c}$، بينما تؤدي النظرية الجسيمية إلى أن $n=\acute{c}/c$. ومن الواضح أنه يمكننا أن نحكم بين النظريتين إذا استطعنا أن نقيس أيهما هو الصحيح حقيقة، $\acute{c}>c$ أم $c>\acute{c}$، أي ما إذا كانت سرعة الضوء أكبر في الماء أو في الهواء.

وعلى أية حال، كانت إمكانية مثل هذا القياس في زمن نيوتن وهيجنز أمراً بعيد الاحتمال. وعندما ظهرت طرق أرضية لقياس سرعة الضوء اقترح أراجو في عام ١٨٣٨ إجراء «تجربة حاسمة» لتقرر بصفة قاطعة ما إذا كان «الضوء جسماً مادياً» أم أنه يتكون من انتشار اضطراب خلال وسط مرن. وفي ذلك الوقت كان مفهوم انتشار الضغط أو الكثافة قد حل محله انتشار الذبذبات المستعرضة، إلا أن مشكلة سرعة الانتشار قد ظلت من الناحية الأساسية على ما كانت عليه. وقد كتب أراجو عن مشروعه(٧).

> **إنني أرى أن التجارب التي سوف أقوم بشرحها تسمح بأن نختار بين النظريتين المتنافستين. إنها سوف تحسم رياضياً واحداً من موضوعات الفلسفة الطبيعية الذي كان موضعاً لأكبر قدر من الجدل.**

ويقصد أراجو بكلمة «رياضياً» أن يقول إنه بعد مشاهدة نتائج التجارب التي أعدها، يمكن للمرء أن يستنبط قراره بطريقة «منطقية». فإذا نتج من نظرية A أن نقطة مضيئة تتحرك إلى جهة اليسار، بينما ينتج من نظرية مناقشة B أن هذه النقطة تتحرك إلى جهة اليمين فما علينا إلا أن نبصر في أي الاتجاهين تتحرك النقطة. فإذا كانت تتحرك يميناً فإنه ينتج منطقياً أنها لا تتحرك نحو اليسار. وبالتالي ينتج منطقياً أن النظرية A تؤدي من خلال طرق استنتاج سليمة إلى نتائج زائفة. وينتج منطقياً بالتالي أن A خطأ. ومع كل، فإن النظرية الجسيمية A ونظرية التموج B لا تستنفدان كل النظريات الممكنة. ومن ثم في حالتنا الراهنة، فإن صحة B لا تنتج بالضرورة من زيف A.

والذي أجرى التجربة بالفعل هو ليون فوكولت عام ١٨٥٠، ونحن نورد هنا الوصف الذي وضعه آراجو كما اقتبسه فوكولت[٨]:

يوضع مصدران نقطيان للضوء أحدهما بالقرب من الآخر ويعلوه رأسياً، وأمامها مرآة تدور حول محور رأسي. يضاء المصباحان في لحظة واحدة. تمر الأشعة الصادرة من النقطة الأعلى خلال أنبوبة ممتلئة بالماء، أما الأشعة الصادرة من النقطة السفلى فتصل إلى المرآة دون أن تمر في طريقها بغير الهواء. نفترض أن المرآة تدور من اليمين إلى اليسار بالنسبة للمشاهد. إذا كانت نظرية الانبعاث (نظرية الجسيمات) صحيحة، أي إذا كان الضوء مادة، فسوف تبدو النقطة العليا على يسار النقطة السفلى (بعد انعكاسها على المرآة). وعلى العكس من ذلك سوف تبدو على يمينها إذا كان الضوء هو نتيجة انتشار ذبذبات خلال الوسط الأثيري.

يحاول أراجو الآن أن يوضح أن تجربته «تجربة حاسمة» بالصيغة الآتية:

هل تظهر صورة النقطة العليا على يسار النقطة الأخرى؟ في هذه الحالة يكون الضوء جسماً.
هل الحال هو العكس؟ هل تظهر الصورة الأعلى إلى اليمين؟ في هذه الحالة يكون الضوء تموجاً.

عندما قام فوكولت بإجراء التجربة وجد أن صورة النقطة العليا تظهر إلى اليمين. وقد استخلص من هذه النتيجة (طبقاً لحجة أراجو المنطقية) أن الضوء لا يتكون من جسيمات متحركة. ولا يمكننا طبعاً أن نستنتج أن الضوء هو حركة

موجية خلال الوسط لأننا لا نستطيع أن نثبت أن هذه النظرية هي البديل الوحيد لنظرية الجسيمات. ومن ناحية أخرى، لم توضع نظريات أخرى سوى نظرية التموج في الشكل الذي وضعه يونج[٩] وفرينيل[١٠] وهي: الضوء هو انتشار موجات مستعرضة خلال وسط مرن. ومن ثم فإن تجربة فوكولت (١٨٥٠) تعتبر من الناحية العملية تثبيتاً أكيداً لنظرية التموج ليونج وفرينيل.

وإذا توخينا الدقة والمنطق نقول إن التجربة قد أثبتت فقط أن نظرية التموج يمكن أن تكون صحيحة. وإذا قلنا إن «التجربة الحاسمة» تبين أن من المحتمل جداً أن تكون نظرية التموج نظرية صحيحة، فإن هذا النص لا يكون صحيحاً إلا إذا أحصينا الافتراضات التي تكون النظرية صحيحة بموجبها. ومن الواضح أن الفرض هو أن صحة النظرية تكون قوية الاحتمال عندما تؤكدها تجارب عديدة ولا تنقضها أي تجربة. غير أن هذا بدوره لن يكون صحيحاً إلا تحت الفرض التالي: عندما تتأكد نظرية ما تأكداً جيداً ولم تكن قد نقضت أبداً فمن غير المحتمل أن نجد نظرية بديلة لها تتمتع بنفس الصفات. وتجربة أراجو لا تثبت صحة نظرية التموج إلا إذا أثبتنا أنه ليس هناك بديل آخر للنظرية الجسيمية لنيوتن غير نظرية التموج ليونج وفرينيل. ومن وجهة النظر المنطقية من المؤكد أنه لا يوجد من يؤمن بذلك. ومن وجهة النظر التجريبية، من المؤكد أن عدد الفروض والنظريات التي محصت تمحيصاً تاماً وأكدتها التجربة كان عدداً صغيراً. ومن ثم فسوف يبدو أنه باستبعاد نظرية تلو الأخرى بواسطة تجارب حاسمة يمكن الحصول في النهاية على النظرية الصحيحة.

وربما يكون هذا الإيمان بالعدد القليل من النظريات ناشئاً من تماثل بين النظريات والكائنات الحية. فإذا نظرنا إلى الحيوانات مثلاً، نجد أن هناك عدداً محدوداً من الأنواع، يختلف كل منها عن الآخر اختلافاً محدداً. وإذا قارنا مثلاً بين فيل ونعامة نجد بينهما اختلافاً كبيراً ولا نجد بينهما تحولاً متواصلاً. ومن السهل أن نتصور «تجربة حاسمة» نقرر من خلالها ما إذا كان الحيوان الذي أمامنا هو فيل أم غير ذلك. فليس علينا إلا أن نتأكد من أن له خرطوماً إذ لا يوجد حيوان آخر له خرطوم. وتكفي مثل هذه التجربة السطحية لإثبات أن هذا الحيوان هو فيل. فلا

توجد حيوانات أخرى لها خرطوم وتبدو فيما عدا ذلك مثل النعام. ومن ناحية أخرى إذا وجدنا ريشة نعام على أحد الحيوانات يمكننا أن نتأكد أن هذا الحيوان نعامة لأنه لا يوجد حيوان آخر له ريش النعام ويبدو فيلاً فيما عدا ذلك. وربما كان هذا هو ما يقصده دوهيم[11] عندما ادعى أن «التجارب الحاسمة» موجودة في البيولوجيا وليست في الفيزياء. يتضح من هذه الاعتبارات أن «التجربة الحاسمة» لأراجو لم «تثبت» صحة نظرية نموذج الضوء لفرينيل إلا تحت فروض محددة جداً. ومع ذلك، إذا قلنا بأنها قد استبعدت نهائياً نظرية نيوتن لجسيمات الضوء فيجب أن نفهم أن ذلك لم يتم سوى من خلال افتراضات محددة جداً وتكاد أن تكون اختيارية. والذي «استبعدته» تجربة أراجو في الواقع هو كل فرض ينطوي على أن سرعة الضوء في الماء أكبر منها في الهواء. وعلى أية حال، فإن ذلك لا يترتب على نظرية الجسيمات في حد ذاتها، ولكنه ينتج من الفرض الإضافي بأن الجسيمات تتحرك طبقاً لقوانين نيوتن وأنها تتسارع عندما تمر في الماء. فإذا ظهر أن هذه الزيادة في السرعة لا تتفق مع المشاهدة، فإننا لا يمكننا أن نعرف ما إذا كانت هذه الزيادة في السرعة سوف تحدث إذا كانت الجسيمات تتحرك طبقاً لقوانين أخرى، أو أنها تنجذب بواسطة الماء طبقاً لقوانين أخرى. وفي الواقع أن تجربة أراجو تستبعد فقط الجمع بين: نظرية الجسيمات، مضافاً إليها قوانين الحركة، وقوانين القوة في الماء. ومن ثم يمكننا دون أي تناقض منطقي أن نفترض أن نظرية الجسيمات نفسها لم تستبعد، وأنها يمكن تدعيمها إذا افترضنا قوانين حركة أخرى وقوانين أخرى للقوة في الماء.

ونوجز هذه الاعتبارات بشأن «التجربة الحاسمة» لأراجو فيما يلي: إنها لا تستبعد إمكانية نظرية جسيمية يمكن أن تفسر كل الظواهر التي استنبطت من نظرية التموج لفرينيل. وعلى أية حال، فإن مثل هذه النظرية الجديدة لم توضع قبل أن تجرى تجربة حاسمة جديدة، وهي التي قد وضعت الاختيار بين نظرية الجسيمات ونظرية التموج موضع اختبار جديد أدى بدوره إلى استبعاد نظرية التموج.

٣ ـ «تجربة حاسمة» ثانية

ظلت نظرية التموج للضوء مقبولة بوجه عام بعد تجربة فوكولت عام

١٨٥٠، مع ادخال تعديل واحد هو أنه بعد أعمال جيمس كلارك مكسويل[١٢] وهنزيسن هيرتز[١٣] حلت الذبذبات الكهرومغنطيسية محل الذبذبات المرنة. وفي عام **١٩٠٢** أجريت «تجربة حاسمة» أخرى، يمكن أن تحكم بين نظرية الجسيمات ونظرية التموج في الضوء. لم يكن مبدع هذه التجربة، فيليب لينارد[١٤] مدركاً لأهمية تجربته كما فعل سابقه أراجو. وفي الواقع أن تجربة لينارد لم تعرف على أنها تجربة حاسمة إلا في عام **١٩٠٥** عندما لفت أينشتاين انتباه الفيزيائيين إليها. وعلى أية حال، سوف ننظر إلى التجربة كما أعدت كتجربة حاسمة صممت لكي تكون أساساً للفصل بين نظريتي الضوء. ونعلم من (القسم ٢) أن نتيجة تجربة أراجو لم تمنع إمكانية إجراء «تجربة حاسمة» ثانية يمكن أن تعطي نتائج مضادة.

نفترض أن الضوء ينبعث من النقطة P ليسقط ويمتص بواسطة حائل مستو متعامد على اتجاه أشعة الضوء، ولتكن مساحة الحائل $\propto$ والمسافة بينه وبين النقطة P r. إذا كانت الطاقة المنبعثة من P في وحدة الزمن هي (L) (شدة الإضاءة)، فإن الطاقة التي تسقط على الحائل في وحدة الزمن هي $L\,a/4\pi r^2$ (حيث إن الضوء على مسافة تبعد r عن المصدر يكون موزعاً على سطح كروي مساحته $4\pi r^2$). نفترض الآن أننا نستطيع قياس الطاقة الاشعاعية الساقطة على الحائل في وحدة الزمن. فإذا افترضنا أن نظرية التموج صائبة، فإن (L) تكون كمية ثابتة، وتتناقص الكمية $L\,a/4\pi r^2$ كلما زادت r. فإذا حركنا الحائل ليتباعد عن المصدر فإن الطاقة الضوئية التي تسقط عليه في وحدة الزمن تتناقص نحو الصفر. أما إذا افترضنا أن P تنبعث منها جسيمات، وليكن (n) جسيماً في وحدة الزمن وأن طاقة كل جسيم هي (l) فإن النتيجة تختلف؛ فالطاقة التي تسقط على الحائل في وحدة الزمن تكون عندئذ $nla / 4\pi r^2$، لكن الطاقة التي يمتصها الحائل لا يمكن أبداً أن تكون أقل من طاقة جسيم واحد (n=1). ويمكن أن تصبح صفراً إذا كانت كل الجسيمات التي تمر إلى جانب الحائل (n=0).

ومن ثم يمكننا أن نجري التجربة التالية: إذا حركنا الحائل (مساحته a) بعيداً عن P أكثر فأكثر، فإما أن تتناقص الطاقة الضوئية التي يمتصها الحائل تناقصاً بغير حدود، وإما أن تصل إلى حد أدنى ثم تهبط بعد ذلك إلى الصفر هبوطاً فجائياً. ولكي نستطيع أن نجري مثل هذه التجربة لا بد أن نكون قادرين على

قياس مقادير صغيرة جداً من الطاقة وهذا أمر يمكن تحقيقه باستخدام التأثير الكهروضوئي. عندما يسقط الضوء على سطح بعض المعادن تنبعث الكترونات من هذا السطح، وتكون طاقة هذه «الالكترونات الضوئية» مقياساً للطاقة الضوئية التي امتصها السطح. وكما سبق أن ذكرنا، وجد فيليب لينارد[١٦] أن الطاقة التي يمتصها السطح تظل دائماً أعلى من مستوى معين، وهي طاقة «جسيم ضوئي» واحد. وتقضي نظرية التموج بأن هذه الطاقة تتناقص إلى الصفر عندما تتزايد المسافة بين الحائل ومصدر الضوء. وقد بينت تجربة لينارد بطريقة جازمة أن الحد الأدنى للاشعاع الذي يمتصه الحائل عندما تزيد المسافة لا يتوقف على هذه المسافة وإنما يتوقف فقط على لون (تردد) الضوء. «استبعدت هذه التجربة نظرية التموج في شكلها الكلاسيكي الذي وضعه فرينيل. وأثبتت إمكانية وجود «نظرية جسيمات».

و«نظرية الجسيمات» التي تفترضها هذه التجربة لا تحتوي (كما فعلت نظرية نيوتن) على أية قوانين تنجذب الجسيمات إلى المادة طبقاً لها، ولكنها تفترض فقط أن هذه الجسيمات تتحرك في الفراغ في خط مستقيم. وإذا أوجزنا نتيجتي كل من «التجربتين الحاسمتين» يجب أن نلاحظ أن كلًا من نظرية الجسيمات ونظرية التموج، في شكلهما الكلاسيكي، قد استبعدتا. فالنظرية الصائبة يجب أن تكون مختلفة عن كل منهما. وبما أن كثيراً من النتائج المستخلصة من كل من هاتين النظريتين الكلاسيكيتين تتفق مع التجارب، فإن من الواضح أن النظرية الجديدة يجب أن تحتوي على بعض سمات نظرية الجسيمات وبعض سمات النظرية الموجية. ومعنى هذا أن النظرية الجديدة سوف تؤدي، تحت بعض الظروف، إلى نفس نتائج إحدى النظريتين القديمتين، ولكن ليس هناك سبب منطقي لأن نقول إن النظرية الجديدة هي نوع من «مجموع» النظريتين القديمتين أو، كما قال البعض، إن الضوء يجب أن يكون «موجات» و«جسيمات» في نفس الوقت.

عندما بيّن أينشتاين[١٧] عام ١٩٠٥ أن هذه «التجربة الحاسمة الثابتة» قد استبعدت نظرية التموج، حاول نيوتن أن يعدل هذه النظرية في أضيق الحدود. وقد كان عليه أن يدخل على النظرية تغييرات من شأنها أن تجعل نظرية التموج التي «أعيد تجديدها» متفقة مع تجربة لينارد. كان من النتائج المستخلصة من نظرية

التموج في شكلها الكلاسيكي أن مقدار طاقة التذبذب فوق سطح موجة كروية ثابت للمساحات المتساوية، ويتناقص هذا المقدار كلما زادت المسافة عن الصفر. وقد دحضت تجربة لينارد هذه النتيجة. وافترض أينشتاين أن الطاقة ليست موزعة توزيعاً متجانساً فوق سطح الموجة ولكنها مركزة في رزم تسمى **كمات الضوء** أو **الفوتونات**، وهي جزء من الأشعة الكهرومغنطيسية وتتحرك بسرعة الضوء. وهذا بالطبع تناقض واضح مع القوانين الأساسية للمجال الكهرومغنطيسي. ولذلك فإن الحائل الموضوع على مساحة كبيرة من المصدر لا يمكن أبداً أن يتلقى طاقة تقل على طاقة الفوتون. والطاقة الكلية التي يمتصها الحائل هي مجموع طاقات كل الفوتونات الممتصة؛ ولذلك، فإنه على بعد كبير من المصدر فإن الحائل يمتص فوتوناً واحداً في وحدة الزمن أو لا يمتص شيئاً.

وتبين تجربة لينارد أن الضوء عندما ينبعث من المصدر، ويسقط على السطح المعدني لتنبعث منه الكترونات ضوئية، فإنه في الواقع يتبع هذا النموذج. فبينما تستبعد نظرية التموج، تتأكد النظرية الجسيمية بمعنى أن الضوء ينبعث من المصدر برزم معينة سميت «كمات ضوئية» أو «فوتونات». والتجربة وحدها هي بالطبع التي تبين أن الضوء ينبعث كحشد من الجسيمات، لكن حركة هذه الجسيمات لا يجب أن تخضع لقوانين نيوتن لكي تتفق مع تجربة أراجو الحاسمة. ولكي يغير أينشتاين نظرية التموج في أضيق الحدود، افترض أن الضوء يجب أن يبقى حركة موجية (الآن موجات كهرومغنطيسية) إلا أن الطاقة ليست موزعة في الموجة توزيعاً متجانساً. ويجب أن تكون هناك تكثفات في الطاقة تنتشر على شكل رزم بحيث لا يمكن للحائل أن يستقبل أقل من رزمة واحدة. وتحمل كل رزمة نفس المقدار من الطاقة بشرط أن يظل تردد الضوء على ما هو عليه دون تغيير. وتبين تجربة لينارد أن طاقة كل رزمة تتناسب مع تردد الضوء: $E=h\nu$، حيث E هي طاقة الرزمة الواحدة، ν هي تردد الضوء المفترض أنه أحادي اللون، h ثابت عام يسمى ثابت بلانك.

٤ ـ قوانين الحركة لكم الضوء

بما أن الفوتونات جزء من الموجة الكهرومغنطيسية فهي تتحرك بسرعة

الضوء. وهذا يختلف كثيراً عن الجسيمات الموجودة في ميكانيكا نيوتن؛ فالأخيرة يمكن أن تكون في حالة سكون ويمكن أن تتحرك بأي سرعة، بينما تتحرك الفوتونات دائماً بسرعة الضوء ولا يمكن أن تكون في حالة سكون. ويحدد عدد الفوتونات التي يمتصها حائل مجموع طاقة الضوء التي امتصها الحائل. ومن هنا يجب أن توصف كل ظواهر الضوء باعتبارها حركات فوتونات. وقد سبق أن ذكرنا أنه ليس هناك معنى محدد لقولنا إن الضوء يتكون من «جسيمات» ما لم نصغ قوانين الحركة لهذه الجسيمات. وكما علمنا حتى الآن، وكما سوف نعلم بمزيد من التمحيص، تتبع الفوتونات قوانين حركة تختلف اختلافاً كبيراً عن قوانين الحركة التي تحكم الجسيمات النيوتونية. ومن ثم فإن تسمية الفوتونات بأنها «جسيمات» أو عدم تسميتها كذلك إنما هو أمر يرجع إلى الذوق إلى حد ما.

إن نظرية التموج تغطي جيداً معظم الظواهر الضوئية الهامة. ومن الواضح أن إدخال الفوتونات يجب ألا يغير هذا الوضع. إن كل ظاهرة ضوئية يمكن وصفها في نهاية الأمر على أنها توزيع لمناطق الاعتام والإضاءة أو نقصها على جسم معين. وفي الظروف العادية يتطلب الأمر أن تتبع الفوتونات قوانين حركة بحيث تنتج توزيعاً للمساحات المضاءة والمساحات المعتمة مثلما يستنبط من نظرية التموج. وكما فهمنا في «التجربة الحاسمة» الثانية تؤدي نظرية التموج إلى نتائج سليمة إذا كانت كثافة الطاقة الضوئية صغيرة جداً. ويبين التأثير الكهروضوئي انحرافاً عن نظرية التموج عندما يسقط عدد صغير من الفوتونات على المساحة المنظورة.

التداخل والحيود هما أكثر النتائج تميزاً بين الظواهر المستنبطة من نظرية التموج. إنهما تتفقان ونتائج المشاهدة. وفي حقيقة الأمر أن هذه النتائج التجريبية كانت أقوى البراهين إقناعاً بنظرية التموج. ونحن لن نتطرق إلى التعميمات العريضة، ولكننا سنصف تجربة مميزة للحيود وهي: مرور الضوء في فتحتين مستطيلتين ضيقتين في حجاب حاجز. ولتكن المسافة بين الفتحتين a وطول موجة الضوء λ. ولكي نرى كيف يتأثر الضوء بمروره في الفتحات نقيم ستاراً خلف الحاجز وعلى مسافة D منه. إذا كانت حزمة أشعة الضوء عمودية على الحاجز، فإننا نشهد على الستار نموذجاً لأهداب مضيئة ومعتمة. ويوجد في الوسط هداب

مضيء وتوازيه أهداب أخرى مضيئة تفصل بينها أهداب معتمة. فإذا كان طول الموجة λ صغيراً بالنسبة للمسافة a بين الفتحتين فإن المسافة بين كل هدبين مضيئين تكون $\frac{D\lambda}{a}$ على وجه التقريب.

تستنبط نظرية التموج هذه الظاهرة (الحيود) على النحو التالي: تنتشر الموجات من كل من الفتحتين وراء الحاجز. تتفاعل هاتان المجموعتان من الموجات بتراكب التذبذبات بواسطة عملية «التداخل». وفي المواضع التي تلتقي فيها ذروات الموجات تنتج إضاءة وحيث تلتقي ذروة الموجة بقاع الأخرى ينتج إعتام. وبتعبير رياضي، إذا كان مسارا الشعاعين بعد خروجهما من الفتحتين يختلف طولهما بمقدار طول الموجة أو مضاعفاته الصحيحة($\lambda, 2\lambda, 3\lambda, \ldots$) تنتج إضاءة، وإذا اختلف المساران بمقدار المضاعفات الفردية لنصف طول الموجة ($\frac{\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}, \frac{5\lambda}{2}, \ldots$) فإننا نحصل على اعتام.

وعلينا الآن أن نصف هذه الظاهرة الضوئية الأساسية باستخدام مفهوم «الفوتونات». إن ما سميناه من قبل «بالأهداب المعتمة» فوق الستار نعتبرها الآن مناطق لا تسقط عليها فوتونات، في حين أن الأهداب المضيئة هي مناطق يستقبل فيها الستار عدداً كبيراً من الفوتونات. وعلى هذا فإن حزمة الأشعة الساقطة على الحاجز تنقسم إلى حزمتين تمر كل منهما بإحدى الفتحتين. وعلى هذا فإن كلاً من الفتحتين يمر منها حشد من الفوتونات عابراً الحيز بين الحاجز والستار. وتنحرف الفوتونات عند الفتحة بحيث تصطدم معظمها بالستار عند المناطق المضيئة، بينما يصل عدد قليل من الفوتونات إلى المناطق المعتمة من الستار. وإذا تحرينا المزيد من الدقة نقول إن معظم الفوتونات تواصل مسارها، عمودياً، حتى تصل إلى الستار؛ وينحرف عدد كبير من الفوتونات إلى مسافة قدرها $D\lambda/a$ إلى اليمين وإلى اليسار، بينما ينحرف عدد أقل إلى مسافة قدرها $\frac{2D\lambda}{a}$، ثم $\frac{3D\lambda}{a}$ . . .

وإذا حاولنا أن نستنبط معادلة لحركة فوتون منفرد من هذه النتيجة لنظرية التموج فإننا نواجه متاعب ضخمة. فإذا مر فوتون واحد خلال الفتحة S_1 فإننا نعلم انه من بين حشد الالكترونات التي يمر بعضها خلال S_1 والبعض الآخر خلال S_2 فإن معظم هذه الفوتونات يصطدم بالستار عند المساحات المضيئة،

بينما يصطدم عدد قليل منها بالستار عند المساحات المعتمة. لكننا إذا اعتبرنا فقط فوتوناً واحداً ماراً من الفتحة S_1 فإننا نعلم فقط أنه يجب أن يصطدم الستار، عند موضع بحيث يكون النموذج النهائي لاصطدامات فوتونات الحشد هو النموذج الكلاسيكي لنظرية التموج. ويتحدد هذا النموذج بواسطة المسافة a بين الفتحتين، لكن الشروط الابتدائية لتجربتنا التي نتعامل فيها مع فوتون واحد يمر خلال S_1، هذه الشروط لا تتضمن المسافة a. وإذا أعددنا لتجربة مماثلة مستخدمين الفتحة S_2 فسوف نواجه نفس الصعوبة. ويبدو أنه من المستحيل أن ننظر إلى النموذج الكلاسيكي للحيود بواسطة فتحتين على أنه تراكب لحركتي فوتونين مفردين يمران بالفتحتين المفردتين طبقاً لقانون معين للحركة.

ومن ناحية أخرى يمكننا بسهولة أن نتخيل وأن نجري التجربة التالية: لدينا مصدر تنبعث منه الفوتونات ببطء، مثلاً بمعدل فوتون واحد كل الثانية، ونراقب مسار الفوتونات خلال الفتحتين ووصولها إلى الستار. سوف تحدّد الظروف الأولية للتجربة نموذج الأهداب التي تفصل بين كل منها مسافة $F= D\lambda/ a$ وهذه الظروف هي: مصدر الضوء، الفتحتان الضيقتان المستطيلتان والستار. وإذا انتظرنا حتى عدد كبير من الفوتونات يمكننا أن نتنبأ أنه نتيجة لهذه الصدمات العديدة فسوف نرى الأهداب تفصل بين كل منها مسافة $D\lambda/ a$. وإذا أغلقنا إحدى الفتحتين فسوف يختفي هذا النموذج؛ وسوف نشهد نموذجاً آخر (وهو يتوقف على اتساع الفتحة) ولن نتعرض هنا لمناقشته. ونموذج الأهداب الذي نحصل عليه بوجود فتحتين ليس تراكباً لنموذجين لفتحتين منفردتين. ومن ثم فإنه ليس هناك قانون للحركة يحدد مسار فوتون منفرد ويمكننا من استنباط الحقائق المشاهدة التي تحدث عندما تمر الفوتونات خلال فتحتين.

وهذا يعني تغيراً أساسياً جداً في النموذج العام للفيزياء، وخاصة في قوانين الحركة. فبينما تبنى كل الفيزياء في الفيزياء النيوتونية، بما فيها نظرية النسبية، على أساس مسارات الجسيمات، نلاحظ أن النظرية الجديدة في الضوء تؤدي إلى مفهوم الجسيمات (الفوتونات) ولكنها لا تحول الحقائق المنظورة إلى مسارات تعبرها هذه الجسيمات. وكل ما نستطيع أن نفعله هو أن ندرس التجهيزات العملية

المعروفة لنستنبط منها الحقائق التي يجب أن نشهدها، دون أن نستطيع وصفها بدلالة مسارات الجسيمات. وإذا اعتبرنا مصدر الضوء L وبقعة مضيئة على الستار نتجت من سقوط الفوتونات المنبعثة من L، فإن نظرية التموج الجديدة المعدلة لا تستطيع أن تنبئنا عما إذا كانت الفوتونات التي أحدثت هذه البقعة المضيئة قد مرت من الحاجز خلال الفتحة S_1 أم الفتحة S_2. وسوف نناقش هذا الموضوع بمزيد من الشمول والتمحيص عندما نضع النظريات الجديدة بشأن حركات الجسيمات وهي النظريات التي يجب أن تحل محل قوانين الحركة لنيوتن.

٥ - قوانين الحركة للجسيمات المادية الصغيرة جداً

في النص المشهور عن لابلاس بشأن الروح العليمة بكل شيء والتي تعرف المواضع والسرعات الابتدائية لكل الجسيمات الموجودة بالكون، قال لابلاس إن هذه الروح تستطيع أن تتنبأ من قوانين نيوتن للحركة بمستقبل الكون بشرط أن تكون أيضاً رياضية كاملة تستطيع أن تجري عمليات التكامل للمعادلات التفاضلية للحركة تحت شروط ابتدائية اختيارية. ويقول لابلاس بوضوح إن هذا النص الجارف يسلم بأن كل الجسيمات، حتى الذرات الصغيرة، تخضع لنفس قوانين الحركة التي وضعها نيوتن ليستنبط حركات الأجرام السماوية. ويبدو أن تقدم الفيزياء الذرية في القرن العشرين يشير إلى أن حركات الجسيمات الأصغر من الذرة، مثل الالكترونات والنويات، لا يمكن استنباطها من قوانين نيوتن.

وأقرب الأمثلة المألوفة هو حركة الالكترون حول النواة في ذرة الأيدروجين طبقاً لنظرية نيلز بوهر[١٨] فطبقاً لقوانين نيوتن يمكن للالكترون السالب الشحنة أن يدور حول النواة الموجبة الشحنة في مدار دائري بأي نصف قطر، لكن بوهر بين أن خطوط الطيف المنبعثة من الأيدروجين يمكن استنباطها استنباطاً سليماً إذا افترضنا أن الحركة الدائرية لا تتم إلا بأنصاف أقطار معينة. ومعنى ذلك أن هناك قوانين تستبعد معظم المدارات التي تتفق وقوانين الحركة لنيوتن. ففي حالة ذرة الأيدروجين على سبيل المثال، نجد أنِ المدارات الوحيدة التي تتوافق مع خطوط الطيف المنظورة هي تلك المدارات التي تكون كمية التحرك الزاوية فيها تساوي المضاعفات الصحيحة لكمية ثابتة معينة تساوي $\frac{h}{2\pi}$ حيث h هي ثابت بلانك

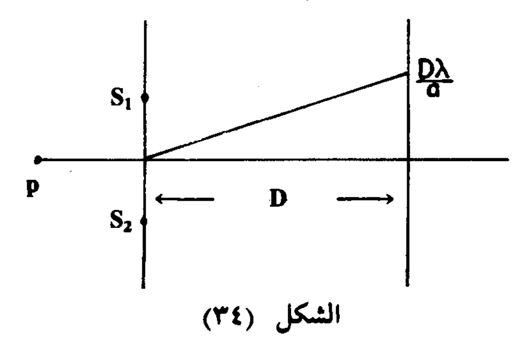
الذي سبق وروده في القسم السابق عند التعبير عن طاقة كم الضوء ذي التردد ν. ويمكن مشاهدة هذه الطاقة $h\nu$ في التأثير الكهروضوئي ومن ثم يمكن حساب قيمة h. ولا يمكن استنباط هذا القيد من الميكانيكا التقليدية. والسؤال المطروح هو كيف يتم تعديل الميكانيكا النيوتونية على نحو يسمح فقط ببعض مدارات معينة ضمن المدارات الممكنة. وقد أجاب عـن هذا السؤال الرجل الفرنسي البرنس لويس دي برولوي[١٩] الذي كان في وقت هذا الاكتشاف عالماً تاريخياً وفيزيائياً هاوياً. وقد شدت الفوتونات انتباهه؛ كانت الفوتونات جسيمات لها حركات لا تحددها قوانيننا في الميكانيكا، ولكن تحددها قوانين الحيود. وإذا كان طول الموجة صغيراً بالنسبة للفتحة أو للجسم الذي يعترض طريق الضوء فإن مسار الفوتونات تكون أشعة بمفهوم الضوء الهندسي؛ ويمكن اعتبارها مسارات لجسيمات. ولدى مرورها خلال فتحات ضيقة أو بجوار أجسام صغيرة فإن مسارها يتحدد بواسطة نظرية التموج، وفي نهاية الأمر لا بد من استبعاد مفهوم المسار كلية. وقد رأى دي برولوي أن يعامل حركة الجسيمات الصغيرة بنفس الطريقة. وتتمثل النقطة البارزة في رأي دو برولوي في أنه في موضوع الضوء لا يمكن أن نستخدم حزم أشعة الضوء وأسطحها المتعامدة عليها (أسطح الموجات) سوى في وصف نمط خاص جداً من أنماط الظواهر الضوئية. والظواهر الضوئية الأكثر تعمياً تصفها «المعادلة الموجية» وهي معادلة تفاضلية من الدرجة الثانية. ويمكن تفسير حل هذه المعادلة على أنه حزمة أمواج ومجموعة من الأسطح الموجية العمودية على اتجاه الأشعة، وذلك عندما تكون كل الفتحات أو الأجسام المعترضة للضوء أكبر كثيراً في حجمها بالنسبة لطول موجة الضوء. وقد ظن برولوي أن مسارات الجسيمات في الميكانيكا النيوتونية ربما تقوم بنفس الدور الذي تقوم به أشعة الضوء في الظواهر الضوئية؛ ربما لا تصف هذه المسارات سوى نمط خاص جداً من أنماط الحركة. وقد تكون هناك ظواهر في الميكانيكا توصف بواسطة ميكانيكا مصممة ترتبط بميكانيكا نيوتن بشأن المسارات على نفس النحو الذي ترتبط به النظرية العامة للتموج في الضوء بضوئيات أشعة الضوء أو المسارات التي تعبرها الفوتونات.

ولكي يضع دي برولوي هذا التصميم، افترض أنه يمكن ادخال نمط من الأمواج (سماها دي برولوي «أمواجاً مادية») تفسر مسارات الجسيمات المادية

بنظرية حيود على نفس النحو الذي تفسر به النظرية العامة للتموج مسار أشعة الضوء. كان من الواضح أن للفوتون المتحرك طولاً موجياً λ، وهو طول موجة الضوء الذي كانت الفوتونات جزءاً منه. ولكي نعطي طولاً موجياً لجسيم متحرك كتلته m وسرعته v كان من الضروري ادخال فرض جديد، وقد قدم دي برولوي هذا الفرض في واقع الأمر؛ كان فرضاً بسيطاً وطبيعياً. فعندما أدخل اينشتاين الفوتونات، وجه انتباه دي برولوي إلى الزخم (كمية التحرك) الميكانيكي للفوتون، وينتج من النظرية العامة للمجال الكهرومغنطيسي أن كل جزء من الطاقة الكهرومغنطيسية E ينتشر بسرعة c يؤثر بضغط (ضغط الضوء) على الجسم المادي الذي يسقط عليه؛ ومن ثم فهو يعطي زخماً خطياً p لهذا الجسم. وينتج رياضياً من نظرية المجال الكهرومغنطيسي لمكسويل أن هذا الزخم يتساوى $p= E / c$. واستطاع اينشتاين ان يستنتج ان زخم الفوتون (طاقة الفوتون $E=hv$) هو $p=h\nu c / c=h / \lambda$ حيث إن العلاقة بين طول الموجة λ والتردد v هي $yv=c$. ومن ناحية أخرى، إذا كان الجسيم ذو الكتلة m يتحرك بسرعة v (وهي سرعة صغيرة بالنسبة إلى سرعة الضوء c)، فإن زخم هذا الجسيم يكون $p=mv$ طبقاً لقوانين نيوتن. ويتمثل فرض دي برولوي في أن حركة الجسيم تتمدد بأشعة يكون لفوتوناتها نفس زخم الجسيم. وهذايعني أن طول موجة هذه الأشعة λ يتحدد من العلاقة:

$$p= m\nu= \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} \text{ or } \lambda= \frac{h}{m\nu}$$

وتعرف هذه العلاقة «بمعادلة دي برولوي». وعلى هذا فإن قانون دي برولوي لحركة الجسيمات كان على النحو التالي:



الشكل (٣٤)

إذا تحركت الجسيمات الصغيرة ذات الكتلة m والسرعة v خلال فتحات مستطيلة في حاجز أو حول أجسام صغيرة فإنها تسلك مسلك الفوتونات ذات الطول الموجي $\lambda = \frac{h}{mv}$، ويسمى «الطول الموجي لدى برولوي».

ولنصف وصفاً تجريبياً نموذجياً: مصدر للالكترونات (جسيمات مشحونة p، وحاجز به فتحتان S_2، S_1، وستار مواز للحاجز وعلى بعد D خلفه. وكما هو مبين (بالشكل ٣٤) تقع النقطة p في وضع متناسق بالنسبة إلى S_1، S_2. فإذا كانت المسافة S_1S_2 صغيرة فإن الجسيم الذي يمر من p إلى الستار خلال S_1 أو S_2. سوف يتحرك في اتجاه متعامد تقريباً مع الحاجز. ولكي يمكن أن نرى اصطدامات الجسيمات فإن الستار يغطى بطبقة من كبريتيد الزنك؛ وعندئذ فإن أي تلامس سوف يحدث بقعة مضيئة. ما الذي سيحدث عندما ينبعث شعاع من الالكترونات من p وينفذ خلال الفتحتين، ويصطدم بالستار؟ إذا كانت كتلة الجسيم m وسرعته v فإن موجة دي برولوي تنبعث من p ويكون طولها الموجي $\lambda = \frac{h}{mv}$؛ تمر هذه الموجة خلال الفتحتين وتنتج نموذج حيود على سطح الستار، ويتكون هذا النموذج من هدب مضيء في الوسط، وهدب مضيء على بعد $\frac{Dy\lambda}{a} = \frac{Dh}{mva}$ من الأول، ثم أهداب أخرى أضعف من سابقتها. إذا كان عدد الالكترونات المصطدمة بالستار في وحدة الزمن عدداً كبيراً جداً فإن الأهداب سوف تتكون في الحال؛ أما إذا كانت الأشعة ضعيفة، أي إذا كان الالكترونات تصطدم بالستار بمعدل صغير (على فترات طويلة) فإن الومضات سوف تظهر بأكبر معدل في الهدب المضيء الأوسط، وسوف تظهر نادراً جداً عند المناطق المعتمة بين الأهداب، وتظهر بمعدل كبير نوعاً في مناطق الأهداب التالية للهدب الأوسط عن يمينه ويساره حيث تفصل بين كل منها مسافة قدرها $\frac{Dh}{mva}$. وإذا عرفنا ترتيبات التجربة فإننا نستطيع أن نحسب نتيجة التجربة في غير ابهام، أي نحسب التوزيع الاحصائي لنقط الوميض فوق الستار.

هل يعني هذا أننا نعرف قانون الحركة للجسيم المفرد؟ من المؤكد أنه ليس هناك قانون يستطيع أن يدلنا أين يصطدم جسيم مفرد بالستار، وفضلاً عن ذلك إذا اخترنا اصطداماً معيناً بالستار فليس هناك سبيل لكي نعرف هل مر الجسيم عبر

الحاجز خلال الفتحة S_1 أم الفتحة S_2. ولذلك يمكننا القول بأن نظرية دي برولوي تحدد النتائج المشاهدة للظروف الابتدائية المشاهدة ولكنها لا تحدد «مسار جسيم».

ولكي نفهم ذلك على نحو أفضل، يحسن أن ننتقي حالتين خاصتين. سوف نفترض أولاً أن إحدى الفتحتين S_2 مسدودة. إذا أهملنا الحيود الناشيء من فتحة مفردة فإن مرور الالكترونات في الفتحة S_1 لن ينتج عنه بديل للأهداب المضيئة والمعتمة. فسوف تصطدم الالكترونات بالستار عند المنطقة الوسطى وعند «المنطقة المعتمة» بنفس المعدل. وسوف تكون الومضات موزعة توزيعاً متجانساً فوق الستار. ومن ناحية أخرى، إذا كانت المسافة بين الفتحتين كبيرة، أي إذا كانت a كبيرة بالنسبة إلى λ، فإن المسافة بين الهدب الأول والهدب الأوسط تقترب من الصفر، وتمتزج الأهداب بالهدب الأوسط. أي أن كل الجسيمات تصطدم بالستار في المنطقة الوسطى، ويكون ما حولها معتماً. وتحسب نتيجة التجربة من الظروف الأولية المشاهدة بأن نستخدم تداخل الموجات المنبعثة من الفتحتين S_1، S_2 وذلك كتدبير رياضي. تدلنا النتيجة على عدد الومضات التي سوف نشهدها فوق أي مساحة من سطح الستار، ولكنها لا تدلنا على أن شيء يتعلق بمسار الجسيمات من المصدر وخلال الحاجز حتى الستار.

٦ - حواشي الفصل [٨]

١ - اسحق نيوتن، «Opticks»، الكتاب الأول الجزء ١، التعريف ١ نشرت الطبعة الأولى عام ١٧٠٤ ولكنها كتبت عام ١٦٧٥.

٢ - نفس المرجع، الكتاب الثاني، الجزء ٣، الفرض ١٢.

٣ - نفس المرجع، التساؤلات ٢٧، ٢٨، ٢٩.

٤ - نفس المرجع، التساؤل ٢٩.

٥ - كريستيان هيجنز (١٦٢٩ - ١٦٩٥)، فيزيائي هولندي - نشرت نظريته الموجية عام ١٦٩٠ في مؤلفه «Traité de la Lumière» الذي كتب عام ١٦٧٨، وترجمه سلفانوس ب. تومسون (لندن: مكميليان وشركاؤه، ١٩١٢).

٦ - نيوتن، نفس المرجع، التساؤل ٢٨.

٧ - مقتبس عن فوكولت، انظر الحاشية ٨.

٨ - «Recueil des travaux Scientifiques de Léon Foucault» المجلد ١، (باريس: Gauthier-Villars، ١٨٧٨).

٩ - توماس يونج (١٧٧٣ - ١٨٢٩) عالم بريطاني. كان من بين أوائل من نجحوا في حل رموز النقوش الهيروغليفية المصرية. وفي محاضرته «Bakerian Lecture»، عام ١٨٠١ عن «Theory of Light and colours»، وضع النظرية القائلة بأن الضوء يتكون من تموجات في وسط على درجة كبيرة من التخلخل والمرونة، ويتخلل الكون كله.

١٠ - جون فرينيل (١٧٨٨ - ١٨٢٧) فيزيائي فرنسي. وضع فرض يونج في شكله الرياضي النهائي.

١١ - بيير دوهيم «Théorie Physique: Son Objet et sa Struture»، (باريس، ١٩٠٦). ترجمة فيليب ب. وينر (برنستون: مطبوعات جامعة برنستون، ١٩٥٤).

١٢ - في عام ١٨٦٤ استنبط ماكسويل من معادلته للمجال الكهرومغنطيسي أنه إذا كانت هناك دائرة اهتزازات فإن الموجات الكهرومغنطيسية سوف تنتشر منها خلال الوسط المحيط بها، كما تنتشر الطاقة الضوئية من الشمعة.

١٣ - لم يدقق تنبؤ مكسويل (الحاشية ١٢) إلا بعد عشرين عاماً بواسطة هنريتش هرتز.

١٤ - فيليب لينارد (١٨٦٦ - ١٩٤٧) فيزيائي ألماني. كانت دراسته عن التأثير الكهروضوئي [Annalen der Physik، المجلد ٨، (١٩٠٢)] حافزاً لأينشتاين لكي يقدم نظريته عن «الفوتونات» (الكهارب الضوئية، أو «الكم الضوئي»). وبعد الحرب العالمية الأولى تبنى لينارد أفكاراً نازية وقومية متطرفة. وقد

أعطى للقوانين الفيزيائية تفسيرات فلسفية تساند عقيدته السياسية والأخلاقية والدينية. ويعتبر لينارد مثلاً بارزاً على ما يمكن لفيزيائي كبير أن يعتقده في هذه التفسيرات إذا كانت تخدم أهدافه السياسة.

١٥ ـ قدم أينشتاين تفسيره لتجربة لينارد في «Annalen der Physik» المجلد ١٧، (١٩٠٥).

١٦ ـ انظر الحاشية ١٤.

١٧ ـ انظر الحاشية ١٥.

١٨ ـ قدم نموذج الذرة لبوهر في ثلاثة مقالات في «Philosophical Magazine»، المجلد ٢٦، (١٩١٣).

١٩ ـ لويس دي برولوي «Annalen der Physik» المجلد ٣، (١٩٢٥).

[٩]

اللغة الجديدة للدنيا الذرية

١ ـ علاقة اللايقين لهيزنبرج[١]

صيغت[٢] قوانين الحركة للجسيمات الصغيرة على نحو بحيث تربط بين الظروف الابتدائية المشاهدة وبين النتائج المشاهدة؛ ولا تنبئنا القوانين بشيء عن الجسيمات «المتحركة». وقد أحس رجل العلم دائماً بحاجته إلى الإبقاء على القوانين التقليدية للحركة طالما كان ذلك ممكناً. لقد استوعبتها لغة الفطرة السليمة، ومن المؤكد أن استخدام نفس هذه اللغة أطول مدة ممكنة هو أمر مفيد جداً. فعند استخدام لغة الفطرة السليمة يعمل خيال رجل العلم بمزيد من اليسر والانطلاق أكثر مما لو استخدم لغة مجردة حيث عليه أن يجد كل نتيجة من خلال البرهان خطوة خطوة.

وإذا عدنا إلى حالة حشد الجسيمات المارة عبر الحاجز خلال فتحتين S_2، S_1، فإننا يمكننا أن نصف الوضع على النحو التالي: تمر الموجة خلال كل من الفتحتين وتحدث تداخلاً على الجانب الآخر. وإذا قلنا إن جسيماً واحداً يمر خلال كل من الفتحتين فإن ذلك يكون أسلوباً شاذاً في الحديث عن جسيم صغير؛ ولذلك فمن الأفضل أن نقول إن الجسم قد مر خلال الحاجز، إلا أن الموضع

المضبوط الذي مر فيه الجسم يتصف بلا يقين قدره a لأن المسافة بين الفتحتين اللتين مر الجسيم من إحداهما هي a. والظروف الابتدائية للحركة في ميكانيكا نيوتن هي الموضع (إحداثيات) والسرعة (أو الزخم). وإذا عرفت هذه البيانات فإننا نستطيع التنبؤ بالحركة المستقبلية باستخدام قوانين الحركة لنيوتن. وفي الحالة التي سبق وصفها (تطبيق نظرية دي برولوي على الجسيمات المارة خلال فتحتين)، علمنا أن مقدار اللايقين في تحديد الموقع (أو في الإحداثي x) هو a.

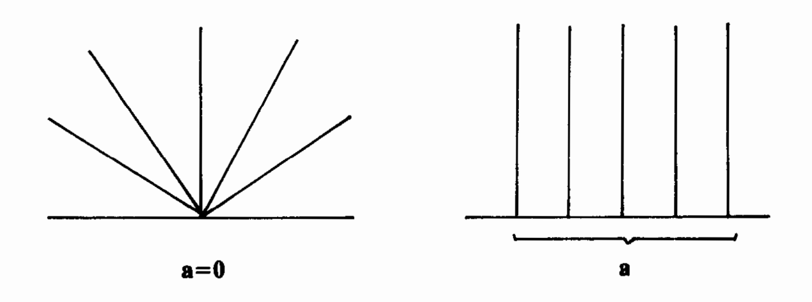
هل هناك لا يقين أيضاً في السرعة الابتدائية ـ وبالتحديد في الإحداثي x للسرعة؟ لقد فهمنا من نظرية الحيود أن معظم الجسيمات تواصل حركتها بعد اجتياز الحاجز إما في اتجاه عمودي على الستار (y=0) وإما أن تنحرف بزاوية قدرها $\varphi=\frac{\lambda}{a}=\frac{h}{mva}$. ومن ثم فإن المركبتين المناظرتين للزخم px في الاتجاه x هما px=0، $px=p\varphi=\frac{h}{a}$. ويتضح من ذلك أن اللايقين في قيمة الزخم هو $px=\frac{h}{a}$.

ومن ثم فإذا رمزنا إلى اللايقين في الإحداثي x بالرمز Δx ورمزنا إلى اللايقين في مركبة الزخم في هذا الاتجاه بالرمز Δpx فإن لدينا $\Delta x=a$ ولدينا $\Delta px=\frac{h}{a}$، وعلى هذا فإن $\Delta x.\Delta px=h$. وهذه هي **«نظرية اللايقين»** المشهورة التي كان الفيزيائي الألماني ورنر هيزنبرج أول من أعلنها. وهي تنص على أن حاصل ضرب مقداري اللايقين في مقداري الإحداثي والزخم يساوي ثابت بلانك h (=٦,٥٥ × ١٠^-٢٧ إرج. ثانية). ونرى هنا أن المعادلة يمكن ذكرها جيداً دون استخدام التعبير السيكولوجي «لايقين». فهي معادلة بشأن حقيقة فيزيائية تجريبية، وهي حيود الجسيمات بواسطة فتحتين. وتنص المعادلة ببساطة على أن: إذا كانت المسافة بين الفتحتين هي a فإن الجسيمات التي تنحرف عن الاتجاه المتعامد مع $S_1 \rightarrow S_2$ يكون لها زخم $\frac{h}{a}$ في الاتجاه x.

وإذا تخلصنا من نظرية الحيود التي تستخدم خطة رياضية (تراكب الموجات)، لكي نستنبط النتيجة محاولين صياغة قوانين هذه الظاهرة بدلالة الجسيمات المارة فإننا نقول: إذا كان اللايقين في تحديد موضع الجسيمات المارة خلال الحاجز بواسطة ترتيب تجربة معينة هو a في الاتجاه x فإن زخم (في الاتجاه x)

الجسيمات خلال الحاجز أو خلفه يتحدد بلا يقين قدره h/a. ونرى هنا أن «اللايقين» في المقدارين تحدده ترتيبات التجربة ولا تحدده أي أحداث ذاتية تدور في ذهن المشاهد.

ومن المفيد أن نفحص الحالتين القصويين للايقين في تحديد الموضع. الحالة الأولى هو اختفاء اللايقين ($0=\infty$)؛ وهنا تكون لدينا فتحة واحدة فقط. فإذا أهملنا الحيود الناشىء عن عرض الفتحة فإن الجسيمات تحيد بالتساوي في كل الاتجاهات خلف الحاجز، وتتساوى كثافة الومضات على كل سطح الستار، وتكون اتجاهات الزخم موزعة بالتساوي. أما زخم الجسيم الواحد فيكون غير محدد على الاطلاق أي يكون لا يقينياً تماماً. والحد الأقصى المقابل هو أن تكون المسافة بين الفتحتين كبيرة بحيث يمكن إهمال λ/a. وهذا يعني أن $\varphi=0$؛ أي أن زخوم كل الجسيمات تكون في اتجاه عمودي على الحاجز (انظر الشكل ٣٥). ففي الحالة الأولى يكون الزخم في الاتجاه x غير محدد كلية، ولذلك فإن اتجاه سرعة الجسيم يكون غير محدد. أما في الحالة الثانية فإن موضع الجسيم عند المحور x لا يكون محدداً، أو تكون الدقة في تحديده ضئيلة جداً، لأن المسافة a بين الفتحتين كبيرة. وعلى أية حال، فإن اتجاه الزخم أو السرعة يتحدد على نحو دقيق، أو قريب من الدقة؛ فهو اتجاه متعامد على الحاجز.



(الشكل ٣٥)

ويمكننا في كل من هاتين الحالتين أن نستفيد إلى حد ما، بقانون القصور الذاتي لنيوتن لكي نتنبأ من الحالة الراهنة بالحركة المستقبلية. ففي الحالة الأولى،

نعرف الموضع المحدد للجسيم عند مروره من الحاجز؛ ثم استطعنا أن نستنتج أن الجسيم يمكن أن يتحرك في أي اتجاه دون مفاضلة بين الاتجاهات. وفي الحالة الثانية نعرف الاتجاه الابتدائي ولكننا لا نعرف شيئاً محدداً عن موضع الجسيم عند مروره بالفتحتين؛ ثم تواصل الجسيمات تحركها في الاتجاه المتعامد على الحاجز حتى تصطدم بالستار. ونحن في الحالة الأولى لا نستخدم سوى موضع الجسيمات لكي نتنبأ بالحركة المستقبلية مستخدمين الميكانيكا النيوتونية؛ وفي الحالة الثانية نستخدم السرعة فقط. وإذا لم تعيننا أي من هاتين الحالتين القصويين فإن تنبؤنا يمكن أن يكون على النحو التالي: نحن نعرف اللايقين a في تحديد الموضع، ومن ثم نعرف اللايقين h/a في الزخم، الذي سيؤدي بدوره إلى حيود الالكترونات المارة خلال الفتحتين. وإذا كانت a=0 فإن اتجاه الجسيمات يكون غير محدد إطلاقاً؛ وكلما تزايد اللايقين تصبح خطوط الحيود أكثر تحديداً وفي النهاية (عندما تصبح a كبيرة) تتحرك كل الجسيمات دون أن يكون هناك لا يقين في اتجاهها.

ومن الواضح هنا أن الظروف الابتدائية للجسيمات المتحركة في الميكانيكا النيوتونية تختلف تماماً عن الظروف الابتدائية للالكترونات المارة من الفتحتين. فالظروف الابتدائية في الميكانيكا النيوتونية هي موضع كل جسيم وسرعته. أما في ميكانيكا الجسيمات الصغيرة القائمة على ميكانيكا الأمواج لدى برولوي فالظروف الابتدائية هي اللايقين في المواضع (ويحدده الثقبان بالحاجز) وما ترتبط به من لا يقين في زخم الجسيمات. وفي الحالتين القصويين تكون الظروف الابتدائية كما يلي: في الحالة الأولى نعرف الموضع الدقيق للجسيم مع لا يقين تام بالنسبة للزخم؛ وفي الحالة الثانية نعرف الاتجاه الدقيق مع لا يقين كبير بالنسبة للموضع. وإذا شئنا أن نعبر عن ذلك بطريقة مختلفة نوعاً مع الاحتفاظ بالمبادىء «المتداعية» للميكانيكا النيوتونية يمكننا أن نقول: لدينا في الحالة الثانية جسيم له زخم ولكن ليس له موضع. وفي كلتا الحالتين يمكننا من قوانين نيوتن أن نستخلص مباشرة النتائج المقابلة لهاتين الحالتين حيث يكون أحد المتغيرين (الإحداثي أو السرعة) معروفاً بينما يتخذ المتغير الآخر أية قيمة.

تناولنا حتى الآن الحديث عن الحقائق الفيزيائية المنظورة فقط. ولم نكن نشير بكلمة «اللايقين» إلى الحالة الذهنية لفيزيائي معين، بل كنا نشير إلى الحدود التي

يمكن في نطاقها احتواء إحداثي الجسيم لو وصفنا الحقائق المشاهدة بدلالة الجسيمات. ومع ذلك، فإننا إذا شئنا أن نلتزم التزاماً دقيقاً بالحقائق المنظورة، فإن علينا أن نتخلص من تعبير استخدمناه دون تعريف بدلالة الحقائق المنظورة، ونعني به «زخم جسيم في الاتجاه x». وقد أدخلنا الزاوية φ التي ينحرفها الجسيم المار في الفتحة، وافترضنا أن الزاوية φ يمكن قياسها بمراقبة موضع الومضات على سطح الستار، ثم افترضنا أن الجسيم يتحرك من الفتحة إلى هذا الموضع في اتجاه معين هو اتجاه الزخم الخطي p للجسيم. ومسقط هذا الجسيم على الستار (px) هو الزخم في الاتجاه x. ومع ذلك فنحن نعلم أنه، بالمعنى النيوتوني، ليس هناك جسيم يتحرك من الفتحة الى الستار. ولهذا فاننا اذا التزمنا بالكميات المشاهدة فلن نستطيع أن نفسر الزاوية φ على انها اتجاه زخم الجسيم.

اقترح نيلز بوهر[٣] تعريف مركبة الزخم في الاتجاه x(px) على النحو التالي. الذي يعطي تعريفاً «تشغيلياً» حقيقياً: إذا مر جسيم من فتحة بسرعة v تحت زاوية φ. فإن الزخم للمرور خلال الفتحة يكون $mv\varphi$ في الاتجاه x. ولذلك فإن الجسيم يعطي الفتحة زخماً قدره $mv\varphi$ في الاتجاه x. وعندما وصفنا نموذج الحيود (مواضع ومضات الجسيمات الساقطة على الستار) افترضنا ضمناً أن كل ترتيبات الجهاز (المصدر، الحاجز والستار) متصلة اتصالاً متماسكاً صلباً بهيكل متصل بدوره اتصالاً متماسكاً صلباً بنظام قصوري يمكن في حالتنا هذه أن نعتبر أنه الأرض؛ عندئذ نجد أن الزخم الذي اكتسبته الفتحة من الجسيمات المارة لا يسبب تحركات لهذه الفتحة. ولكي يتسنى قياس هذا الزخم اقترح بوهر أن توصل هذه الفتحة بالهيكل بواسطة زنبركات مرنة؛ عند مرور الجسيمات من الفتحة تكسبها سرعة بالنسبة للهيكل. ويمكن مشاهدة هذه السرعة للجسم المتوسط الحجم، ويمكن بذلك حساب زخم الجسيم. وهذا يزودنا بتعريف جديد للمركبة في الاتجاه x لزخم الجسيم المار. ولا يفترض من هذا التعريف أن تكون حركة الجسيمات الخارجية من الفتحة خاضعة لقوانين الحركة لنيوتن.

ويمكننا الآن صياغة علاقة اللايقين بحيث لا تستند اطلاقاً إلى ومضات الستار، وإنما تستند فقط إلى موضع وزخم الجسيم المار خلال الحاجز. فإذا وصلنا

الحاجز بالهيكل (أو الإطار) توصيلاً متماسكاً صلباً وكانت إحدى الفتحتين فقط هي المفتوحة فإننا من خلال دراسة نموذج الومضات على الستار نستطيع ايجاد الموضع الصحيح للفتحة بالنسبة للهيكل. وإذا استخدمنا الفتحتين فإننا من خلال دراسة نموذج الحيود نستطيع ايجاد موضع الجسيم عند مروره بالفتحتين، بما في ذلك اللايقين a. أما إذا وصلنا الحاجز بالهيكل القصوري بواسطة زنبرك مرن (وليس توصيلاً متماسكاً صلباً) فإن الجسيمات سوف تعطي زخماً للحاجز لدى مرورها منه. ويمكننا عندئذ أن نقيس زخم الحاجز وذلك من خلال قياس الاستطالة أو النقص في طول الزنبرك، وأن نقيس زخم الجسيم (في الاتجاه x) من قوانين نيوتن.

وإذا علمنا أيضاً موضع الفتحتين (بالنسبة إلى الهيكل)، وذلك عند مرور الجسيم فسوف نعرف موضع الجسيم وزخمه عند لحظة معينة، وبذلك يمكننا أن نحسب من قوانين نيوتن مسار كل جسيم حتى يحدث ومضة على سطح الستار. فإذا شاهدنا عدداً كبيراً من الجسيمات فإننا نستطيع في النهاية أن نستنبط نموذج الحيود من خلال تتبع المسارات النيوتونية لكل الجسيمات.

وبذلك سوف يمكننا أن نحصل على نموذج الحيود بطريقتين أولاهما أن نستخدم تداخل الأمواج المارة خلال الفتحتين، كما فعلنا أصلاً؛ وثانيتهما أن نستخدم مسارات الجسيمات. ويمكننا عندئذ أن نكتشف مسار الجسيم الذي يحدث ومضة معينة، وأن نكتشف الفتحة التي مر منها الجسيم. ومع ذلك فقد أوضح بوهر أن هذا خيال، وأن ترتيبات التجربة التي تمكننا من قياس زخم الجسيم لدى مروره بالحاجز من شأنها أن تفسد أي محاولة لقياس موضع الفتحة بالنسبة للهيكل القصوري. ومن السهل علينا أن ندرك ذلك إذا تذكرنا أن الجسيمين المتصادمين (الحاجز والجسيم) لا يؤلفان جسماً متوسط الحجم ويخضع لقوانين نيوتن. إنهما «شيء ذري» مثل الجسيم نفسه، وهو يخضع «لعلاقة اللايقين». وينتج من هذه القاعدة أن الموضع الدقيق (بالنسبة للهيكل) لا يمكن أن يعطى لمثل هذا «الشيء الذري» إلا إذا كان الزخم محدداً تحديداً تاماً. وإذا حددنا الزخم مع وجود لا يقين معين Δpx، فإن اللايقين Δx للموضع سيكون

$\Delta x = \frac{h}{\Delta p}$ ؛ لكن إذا كان هناك لا يقين في الموضع (ومن ثم في الفتحة بالنسبة للإطار) فإن الومضات فوق الستار لن تعطي نموذج الحيود الذي وجدناه عندما كان الحاجز متصلاً بالإطار اتصالاً صلباً متماسكاً. وسوف يكون نموذج الأهداب مطموساً. ومعنى هذا أننا إذا استطعنا أن نشاهد نموذج الحيود فإننا نستطيع قياس مواضع الجسيمات لدى مرورها بالستار ولكننا لن نستطيع قياس زخوم هذه الجسيمات. أما إذا استطعنا أن نقيس زخوم الجسيمات لدى مرورها من الحاجز فإننا لن نستطيع مشاهدة نموذج الحيود.

٢ ـ مبدأ التتامية لبوهر

وقد صاغ نيلز بوهر هذا الموضوع وعممه في «مبدأ التتامية» الشهير. إذا انبعثت «الأشياء الذرية» من مصدر عند نقطة p، ونفذت من خلال فتحات في حاجز لتنتج ومضات على سطح ستار فإننا لا نستطيع أن نصف الظاهرة بأن نذكر ما هي القوانين التي يتبعها مسار كل جسيم على حدة بين النقطة p والستار. فأي وصف لمثل هذا المسار يتطلب معرفة وضع الجسيم وزخمه عند أية لحظة. وعندما نتحدث عن «وصف الظاهرة» فإننا نعني وصف مصدر الانبعاث، والحاجز بفتحتيه، والومضات على سطح الستار. ولا تشتمل هذه الأوصاف على ألفاظ أو تعبيرات غير تلك التي نستخدمها في لغة حياتنا المعتادة.

وقد علمنا من الملاحظات الواردة (بالقسم ١) أننا لا نستطيع وصف هذه الظواهر باستخدام مسارات جسيمات يمر كل منها خلال فتحة مفردة. ومع ذلك، فإن تطور لغتنا منذ عهد الطفولة، وتزايد تآلفنا مع الفيزياء والرياضيات الأولية يشجعنا على استخدام تعبير «موضع» الجسيم و«سرعته» (أو الزخم) في اللغة التي نستخدمها لوصف هذه الظواهر. وقد بين نيلز بوهر كيف يمكن أن نستخدم التعبير «موضع الجسيم» و«زخم الجسيم» على نحو محدود حيث إن استخدامهما على النحو المألوف لم يكن أمراً مجدياً. وعندما يكون الحاجز متصلاً بالإطار اتصالاً صلباً متماسكاً فإن موضع الفتحة يحدد موضع الجسيم لدى مروره من الحاجز. وعند وجود فتحتين يكون هناك لايقين قدره $\Delta x = a$ في تحديد الموضع. أما زخم الجسيم لدى مروره من الفتحة فلا يكون محدداً على الإطلاق. وبمعرفة موضع الفتحتين

يمكننا أن نتنبأ بموضع نموذج الحيود على الستار. إذا كانت كتلة الجسيمات m وسرعتها v عمودياً على الحاجز فسوف تنشأ أهداب مضيئة ومعتمة، بحيث تفصل مسافة $\frac{D\lambda}{a}$ بين كل هدبين مضيئين (حيث D هي المسافة بين الحاجز والستار). وحيث إننا لا نستطيع مشاهدة أو حساب زخم جسيم مفرد في الاتجاه الموازي للحاجز، فإننا لا نستطيع أن نعرف في أي من الفتحتين قد مر جسيم مفرد أو سوف يمر.

أما إذا لم يكن الحاجز مثبتاً بصلابة إلى الإطار وكان متصلاً به بواسطة زنبرك مرن، فإن زخم الجسيم المفرد يمكن قياسه أيضاً[٥] (كما رأينا بالقسم ١)، غير أن موضعي الحاجز والفتحة بالنسبة للإطار لا يمكن تحديدهما بدقة. وإذا اعتبرنا التصادم بين شيء ذري والحاجز فعلينا أن نتعامل مع مشكلة جسمين. أحد هذين الجسمين هو «شيء ذري».

وعلى ذلك فإن نظام هذين الجسمين يكون أيضاً شيئاً ذرياً. وهو، بهذه الصفة، يتبع علاقة اللايقين التي تقضي بأن تحديد قيمة دقيقة للزخم تنطوي عليه استحالة تحديد موضع الجسيم. وإذا أمكن تحديد قيمة الزخم في حدود خطأ قدره Δpx، فإن الموضع يتحدد بلا يقين قدره $\Delta x = \frac{h}{\Delta px}$. ومعنى هذا أن قياس زخم جسيم مفرد، على النحو المبين سابقاً، يترتب عليه لا يقين في موضع الحاجز. ومن ثم فإن نموذج الحيود لا يحسب إلا في حدود لايقين معين. وإذا كان اللايقين يناهز في المقدار والرتبة المسافة بين خطين مضيئين في نموذج الحيود فإن هذا النموذج سوف يكون مطموساً تماماً ولن يكون له وجود من الناحية العملية. وسوف نبرهن فيما بعد على أن اللايقين في موضع الفتحتين بالنسبة للهيكل هو في الواقع كبير بحيث إن نموذج الحيود سوف يتلف إذا حاولنا أن نكتشف مسار «الشيء الذري» بين المصدر والستار.

وقد استخلص بوهر من هذه الاعتبارات نتائج بالغة الأهمية بشأن النموذج المفاهيمي الذي نستطيع أن نصف به حركة الأشياء الذرية. ففي الميكانيكا النيوتونية يكون لكل جسيم موضع وسرعة عند كل لحظة، أياً كانت حالة تحرك الأجسام المحيطة بهذه الجسيمات. وفي ضوء الملاحظات الواردة (بالقسم ١) بشأن

مبدأ اللايقين، يقول بوهر إنه لا بد أن نفترض ترتيبات محددة للأجسام المحيطة بالشيء الذري حتى يمكننا أن نستخدم كلمات مثل «الموضع» أو «الزخم» في وصف الظواهر التي سبق وضعها. وإذا اعتبرنا الوضع العملي الذي يجعل الحاجز والفتحتين في حالة سكون بالنسبة للهيكل (بواسطة شدات صلبة)، فإننا نستطيع أن نعرف التعبير: «موضع الجسيم عند لحظة معينة»، ولكننا لا نستطيع أن نعرف التعبير: «زخم الجسيم عند لحظة معينة». ومن ناحية أخرى، إذا كان الحاجز متصلاً بالهيكل بواسطة زنبرك مرن فإننا نستطيع أن نعرف التعبير «زخم الجسيم لدى عبوره خلال الستار» ولكننا لا نستطيع أن نعرف التعبير «موضع الجسيم بالنسبة للإطار».

لدينا إذن ترتيبان عمليان يلغي كل منهما الآخر. ويمكننا في الحالة الأولى أن نصف ظاهرتنا باستخدام التعبير «موضع الجسيم بالنسبة للإطار»؛ بينما نستطيع في الحالة الثانية أن نصف الظاهرة بالتعبير «زخم الجسيم لدى مروره خلال الستار». والمقصود بالتعريف في كلتا الحالتين هو «التعريف التشغيلي». وتجري أوصاف ظواهرنا على النحو التالي: «إذا كان للجسيمات موضع معين عند مرورها من الحاجز فإن الومضات على الستار سوف تتبع نموذجاً معيناً (نموذج الحيود)». وسيكون الوصف في الحالة الثانية على النحو التالي: «إذا كان «للشيء الذري» زخم معين عند مروره من الفتحة فإن الحاجز سوف يبدأ في التحرك بزخم معين ويشد الزنبرك الذي يربطه بالإطار». وكل من هذين الترتيبين العمليين يلغي أحدهما الآخر. وفي كل من الحالتين نصف مرور الأشياء الذرية من المصدر خلال الحاجز إلى الستار وصفاً مختلفاً.

ويرى بوهر أن هذين الوصفين «يتمم» كل منهما الآخر. وهذا هو الذي أسس عليه «مبدأه في التتامية». وفي مثل هذه الحالة البسيطة ينص المبدأ على أن: حركة الشيء الذري لا يمكن وصفها بمسار الجسيم الذي يكون له في كل لحظة موضع معين وسرعة معينة. ويمكننا، مع ذلك، أن نعتبر ترتيبات عملية «متممة» تسمح بأي من الوصفين بدلالة مواضع الجسيمات أو بدلالة زخومها. ويمكن في الحالة الأولى أن نقول ـ دون كثير من التدقيق ـ أن الشيء الذري يمكن اعتباره

جسيماً له موضع ولكن ليس له زخم؛ وفي الحالة الثانية نقول إنه جسيم له زخم ولكن ليس له موضع.

وعند تقديم بعض العلماء للقوانين التي تحكم حركات الأشياء الذرية، كثيراً ما نجد صيغاً مكتوبة على نحو مضلل. قال بعض المؤلفين إنه طبقاً للقوانين الحالية لحركة الجسيمات الذرية، فإنه لا يمكن قياس كل من موضع الجسيم وسرعته في نفس اللحظة. فإذا قسنا الإحداثي (الموضع) فإننا «نتلف» فرصة قياس الزخم؛ والعكس بالعكس. وهذه الصياغة مضللة لأنها تعطي انطباعاً بأنه، قبل القياس، كان هناك «جسيم» له «موضع» و«سرعة»، وأن «قياس موضعه» أتلف إمكانية «قياس زخمه». وفي واقع الأمر أن الشيء الذري نفسه لا يمكن وصفه باللفظية: «موضع» و«سرعة». ومن الواضح أننا لا يمكن أن «نتلف» شيئاً غير «موجود». ولا يمكن تعريف اللفظين «موضع» و«زخم» إلا إذا أحيط الشيء الذري بترتيبات تجريبية معينة، لكن ليس هناك ترتيب يسمح بتعريفهما وقياسهما معاً.

٣ ـ ليس هناك معنى تشغيلي «لموضع الجسيم وزخمه»

علمنا من مبدأ التتامية لبوهر أن هناك ترتيبات عملية معينة تمكننا من تعريف «موضع» الشيء الذري، وأن هناك ترتيبات عملية أخرى لتعريف «زخمه» وهذان التعريفان هما «تعريفان تشغيليان»؛ ويمكننا أن نصف عمليات فيزيائية معينة تمكننا من تحديد قيم معينة لمركبات إحداثيات وسرعة مثل هذا الشيء. وإذا عرفنا «موضع» شيء بهذا المعنى، فإننا نستطيع أن نستنبط نتائج بشأن تأثير هذا الشيء على البيئة المحيطة به، مثل الومضات على سطح الستار أو التحرك المنظور للحاجز. ولا يمكن أن نسمي التعريف «تعريفاً تشغيلياً» إلا إذا أمكن استخدامه على هذا النحو. ومعنى هذا أنه لا بد أن تكون هناك قوانين فيزيائية تحتوي في الواقع على المصطلح الذي يتم تعريفه «تعريفاً تشغيلياً».

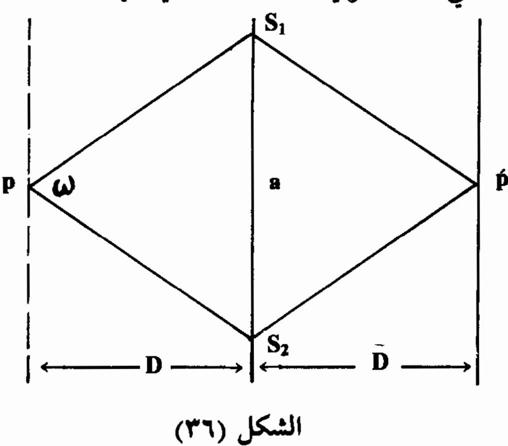
ويمكننا بالطبع أن نخفف الشروط التي يتطلبها «التعريف التشغيلي»، وأن نتجاوز عن شرط أن المصطلح المعرف يستخدم فعلاً في صياغة القانون الفيزيائي. وإذا فعلنا ذلك فمن المؤكد أننا نستطيع أن نعرف المصطلحين «موضع» الشيء الذري و«سرعته»، وذلك من خلال عمليات فيزيائية فعلية تشبه إلى حد ما تلك

العمليات التي تستخدم في تعريف هذين المصطلحين في فيزياء نيوتن. وعلى سبيل المثال، لنعتبر جسيماً ذرياً (الكترون مثلاً) يمر بين حاجزين متوازيين في اتجاه متعامد مع كل منهما، وأن بكل من الحاجزين فتحة مستطيلة ضيقة يمر الجسيم من خلالها. ولتكن D هي المسافة بين الفتحتين، T هي الزمن الذي يستغرقه الجسيم في قطع هذه المسافة. إذن السرعة v التي يعبر بها الجسيم الفتحة الثانية يمكن تعريفها على أنها v=D/T. ويبدو هذا التعريف طبيعياً لأنه أحد التعريفات الممكنة للسرعة في ميكانيكا نيوتن؛ غير أنه بينما نستطيع في هذه «النظرية الكلاسيكية» أن نحسب الحركة المستقبلية للجسيم لأننا نعرف موضعه وسرعته، فإن هذه الحالة تختلف بالتأكيد إذا استخدمنا تعريف السرعة الذي أعطيناه الآن (v=D/T). ونحن نعرف جيداً أنه طبقاً لنظرية دي برولوي، فإن الجسيم الخارج من الفتحة لا يستمر تحركه في نفس الاتجاه ولكنه ينحرف طبقاً لقانون الحيود. ولذلك فإن الموضع والسرعة (المعرفان بهذه الطريقة) لا يحددان اتجاه الحركة المقبلة. فهذه «السرعة» لا وجود لها في أي قانون للفيزياء. إنها ليست «تعريفاً تشغيلياً» على نحو ما عرفنا المصطلح؛ فهذا التعريف للسرعة لا يساعد في صياغة قوانين الفيزياء الذرية.

ويمكننا بالطبع أن نتخيل طرقاً عديدة منوعة لتعريف «السرعة» إذا لم نكن نتطلب أن تدخل هذه السرعة في قوانين الفيزياء. وإذا اعتبرنا هذا المثال، فإننا نتبين أن بمقدورنا أن نقول بمزيد من التعميم إنه ليس هناك بالفيزياء قانون يحتوي على عبارة «موضع الشيء الذري وسرعته»، بينما تستخدم قوانين الفيزياء النيوتونية عبارة «موضع الجسم المتوسط الحجم وسرعته». ويمكننا أيضاً أن نقول ببساطة ان تعبير «موضع وسرعة شيء ذري» ليس له معنى تشغيلي. وهذه الصيغة أكثر تعميماً وفائدة من النص المستخدم في كثير من الأحيان، والذي يقول إن موضع الشيء الذري وسرعته لا يمكن قياسهما معاً في نفس الوقت. فإذا قسنا موضع «الجسيم» فإننا نتلف إمكانية قياس سرعته. إن هذا النص الذي يضفي على القياس «تأثيراً هداماً» هو نص مضلل لسبب بسيط وهو أنه يؤدي إلى مفهوم زائف بأنه كان هناك جسيم له «موضع وسرعة» وأنه تغير على نحو ما بواسطة عملية قياس. وطبقاً لصيغة بوهر لا يمكن وصف مرور الشيء الذري وصفاً ملائماً بواسطة مسار جسيم، وليست هناك قوانين بشأن حركات مثل هذه الأشياء الصغيرة تحتوي على

تعبير «موضع الجسيم وسرعته». ويجب أن نتذكر دائماً أن التعريفات التشغيلية الاختيارية* لا يمكن أن تنتج عنها مفاهيم تساعد في الفيزياء. إن أي تقدم كبير يتضمن خلق بعض التعريفات التشغيلية التي تمكننا من صياغة قوانين الفيزياء على نحو عملي وملائم أكثر مما تفعله التعريفات القديمة.

وسوف نبين الآن من خلال مثال قدمه نيلز بوهر كيف أدت محاولات تتبع مسار الجسيم بين المصدر ونقطة وميض معينة إلى وضع عملي يختفي فيه نموذج الوميض. وربما يكون أوضح دليل على عجزنا عن تحديد مسار الشيء الذري هو عجزنا عن تحديد أي من الفتحتين سار الجسيم خلالها من المصدر إلى الستار. يمكننا أن نفترض أن المصدر p مصدر نقطي. يمكن للجسيمات أن تتفرق من هذه النقطة لكي تمر من الحاجز خلال الفتحتين S_1، S_2 إلى أن تحدث الومضات فوق الستار، وأن D هي المسافة بين المصدر والحاجز والمسافة بين الحاجز والستار، وأن ω هي الزاوية الصغيرة المحصورة بين الاتجاهين من المصدر إلى الفتحتين. وقد عرفنا أننا لا نستطيع أن نستدل من نموذج الومضات على أن من الفتحتين قد مر منها الجسيم الذي أحدث وميضاً عند نقطة معينة ṕ.



الشكل (٣٦)

ومع ذلك فإنه يبدو أن من الممكن أن نتصور ترتيباً معيناً لتجربة يمكن أن نحدد فيها الفتحة التي مر منها جسيم معين. فإذا تصورنا مرة أخرى أننا أعددنا التجربة بحيث يتصل الحاجز بالإطار بواسطة زنبرك مرن، فإن مرور الجسيمات

من خلال فتحتي الحاجز سوف يكسب الحاجز زخماً. وسوف يختلف اتجاه هذا الزخم باختلاف الفتحة التي مر منها الجسيم. فإذا كان الزخم العمودي على الحاجز هو p فإن الفرق بين الزخمين في الاتجاه x يكون ωp وذلك بالنسبة لجسيم مار خلال S_1 وآخر مار خلال S_2 (الشكل ٣٦).

ويمكننا أن نحدد الفتحة التي مر منها الجسيم إذا استطاع قياس الفرق بين الزخمين وهما يساويان في المقدار والرتبة $\omega p = h\omega/\lambda$. ويتضح من (الشكل ٣٦) أن $D\omega = a$، ولذلك فإن $\omega p = ha/D\lambda = \Delta p_x$ ويمكن أن ينتقل هذا الزخم إلى الحاجز نتيجة تفاعله مع الجسيم. ونعلم أن المنظومة التي تتألف من جسمين هما الحاجز والشيء الذري (الجسيم) هي نفسها شيء ذري. فإذا كان اللايقين في زخمها يساوي أو يقل عن $h / D\lambda$ بالنسبة إلى الهيكل، فلا بد أن يكون هناك لا يقين Δx في احداثي الحاجز بالنسبة إلى الإطار. وطبقاً «لعلاقة اللايقين» $\Delta p_x . \Delta x = h$، نستنتج أن Δx إما أن تكون مساوية أو أكبر من $h / \Delta p_x$، أو في أبسط الحالتين $\Delta x = h / \Delta p_x$ أي $\Delta x = D\lambda / a$، لكننا نعلم (من القسم ٤ بالفصل ٨) أن هذه هي المسافة بين هدبين مضيئين في نموذج الحيود على سطح الستار. فإذا كان اللايقين في موضع هذه الأهداب بالنسبة للإطار القصوري له نفس مقدار المسافة بين الأهداب فإن النموذج يكون مطموساً. ويمكننا أن نتبين من هذه الاعتبارات أن الترتيب العملي الذي يؤدي إلى تحديد الفتحة التي يمر منها الجسيم هو ترتيب لا يعطي نموذج حيود واضح. ومن ثم فإننا لا نستطيع أن نتتبع مسار الجسيم في انتقاله من المصدر إلى نقطة الوميض على سطح الستار.

٤ ـ حقائق، وكلمات، وذرات

وكما هو الحال في كل فروع العلم الفيزيائي، وربما في كل العلوم، يجري عملنا على مستويين: مستوى المشاهد الحسية، ومستوى الوصف بخطة مفاهيمية أو على الأصح بخطة لفظية. وقد أصبح التناقض شديد الوضوح بين هذين المستويين عبر تطور العلوم، وخاصة في موضوع الأشياء الذرية مثل الالكترونات والنويات وما شابهها. وكثيراً ما قدمت الموضوعات في هذا المجال على نحو يثير الارتباك لأن المؤلفين لم يعنوا عناية كافية بالتمييز بين هذين المستويين تمييزاً واضحاً

وبتحديد العلاقة بينهما تحديداً جيداً. ويجب أن نبدأ بالإشارة إلى أن كل الظواهر المنظورة في الفيزياء الذرية والنووية يمكن وصفها باللغة المعتادة. فهذه الظواهر تنتمي إلى دنيا الأجسام المتوسطة الحجم ومن ثم فإنه يمكن وصفها بلغة الفيزياء النيوتونية (الكلاسيكية). ولا يمكننا بالطبع أن نستنتج من ذلك أنه يمكن استنباط هذه الظواهر من قوانين الفيزياء النيوتونية، أو بعبارة أخرى، أنه يمكن «تفسيرها» بواسطة الفيزياء النيوتونية. قال نيلز بوهر(٦):

> **ومهما تجاوزت الظهور أفق التفسيرات الفيزيائية الكلاسيكية، فإن تقييم كل الأدلة يجب أن يصاغ بمصطلحات كلاسيكية. ونحن ببساطة نشير بكلمة «تجربة» إلى وضع نستطيع فيه أن ننبىء الآخرين بما فعلنا وبما علمنا، ومن ثم فإن تفسير الترتيبات الفعلية ونتائج المشاهدات يجب التعبير عنها بلغة غير مبهمة، مع استخدام مصطلحات الفيزياء الكلاسيكية استخداماً مناسباً.**

وفي المثال الذي أوردناه في القسم السابق كانت «الترتيبات العملية» تتكون من مصدر الأشياء الذرية والحاجز ذي الفتحتين والستار. والمشكلة التي على العلوم الفيزيائية أن تواجهها هي مشكلة اختراع منظومة من المبادىء يمكن أن تستنبط منها نصوص نستطيع أن نتنبأ أو نحسب بها «النتائج» إذا كانت «الترتيبات العملية» معلومة لنا. وكما سبق أن ذكرنا نقلاً عن بوهر: «فإن الظواهر تتجاوز أفق التفسيرات الكلاسيكية». ويمكن أن نصف الترتيبات الابتدائية والنتائج بلغة الفيزياء الكلاسيكية لأن علينا أن نتعامل مع الأشياء الميكانيكية والضوئية المألوفة مثل الأجسام المتوسطة الحجم، والأهداب المضيئة والومضات الشبيهة بالنقط على سطح الستار.... الخ. وعلى أية حال، فقد عرفنا حتى الآن أن المبادىء التي يمكن أن نستنبط منها الصلة بين الترتيبات الأولية والنتائج ليست مبادىء تتضمن مفاهيم مألوفة من الفيزياء النيوتونية؛ فهي لا يمكن التعبير عنها من خلال وصف مسارات الجسيمات أو انتشار الموجات في الوسط، أو ما شابه ذلك من المفاهيم.

ويمكن أن نسمي وصف الجسيمات أو الموجات، أو ما شابه ذلك من مفاهيم الفيزياء الكلاسيكية، يمكن أن نسمي هذا الوصف «صورة». يقول بوهر(٧):

> **إن الدلائل التي نحصل عليها تحت الظروف العملية المختلفة لا يمكن استيعابها في**

صورة واحدة، ويجب اعتبارها متتامة (متكاملة) بمعنى أن مجموع الظواهر هو وحده الكفيل باستخلاص كل المعلومات الممكنة عن الأشياء.

ويمكن مثلاً أن نحصل على «صورة مفردة» بوصف كل الظواهر بدلالة مسارات الجسيمات. وليس هناك وجود لمثل هذه «الصورة»، ولكننا يمكن في كل ترتيب عملي أن ندرس الظواهر التي تحدث تحت هذه الظروف. ولا يمكن وصف «الأشياء» على أنها جسيمات ومسارات هذه الجسيمات، ولكننا يمكن أن نصفها فقط بوصف كل الظواهر التي تحدث تحت مختلف الظروف العملية. ويستطرد بوهر قائلاً: «وينشأ في هذه الظروف عنصر غموض أساسي عند اسناد خصائص فيزيائية اصطلاحية إلى هذه الأشياء الذرية» فإذا أردت أن أصف تكوين الومضات على الستار بدلالة جسيمات محددة المواضع والسرعات والمسارات فإنني أنسب إلى الشيء الذري خصائص فيزيائية اصطلاحية». وطبقاً لبوهر لا أستطيع أن أفعل ذلك بطريقة غير غامضة. فإذا أردت أن أحدد مواضع الأشياء فلا بد من أن استخدم ترتيبا عملياً يختلف بل لا يتواءم مع الترتيب الذي يمكن أن أحدد به زخم هذه الأشياء.

ومن المهم على أية حال أن نفهم أن «اسناد خصائص اصطلاحية» حتى على نحو جزئي أو «تتامي» ليس أمراً ضرورياً إذا كان ما يعنينا هو التنبؤ بالنتائج المنظورة للتجربة. وإذا شئنا أن نفهم كيف يشرع الفيزيائيون الذين يقومون فعلاً بأبحاث في الفيزياء الذرية والنووية، كيف يشرعون في عملهم للتنبؤ بنتائج منظورة أو للتوصل إلى هذه النتائج، فبمقدورنا أن نفعل ذلك بدراسة المثال الذي ورد بهذا الفصل عن نموذج الوميض الناتج من الأشياء الذرية بعد مرورها من الفتحتين الموجودتين بالحاجز. وإذا كنا معنيين فقط بالنتائج المنظورة أو بموضع الومضات على الستار أو بتحرك الحاجز بالنسبة للإطار القصوري، فيمكننا أن نرجع إلى نظرية أمواج دي برولوي. وسوف نقدم هذه النظرية هنا بطريقة أولية جداً وهي وإن كانت مفرطة في التبسيط إلا أن هذا يجعلها مفهومة من قبل القراء غير المتضلعين في الفيزياء الرياضية. ويجب ألا ننسى أن عدداً كبيراً من طلبة الفيزياء وأن كل طلبة الكيمياء تقريباً ينتمون إلى هذه الفئة.

إذا اصطدم سيل من الأشياء الذرية (الكترونات مثلًا) بالحاجز ذي الفتحتين فيجب أن نستخدم موجات دي برولوي التي تمر خلال الفتحتين على نفس النحو الذي تمر به موجات الضوء. تتداخل الأمواج التي تمر خلال هاتين الفتحتين (والمسافة بينهما هي a) كل مع الأخرى؛ والنتيجة هي حدوث حدود قصوى وحدود دنيا في سعة الموجة الناتجة. وفي الضوئيات المعتادة تتناسب شدة الإضاءة تناسباً طردياً مع مربع سعة الموجة، بينما نجد في الفيزياء الذرية أن هذا المربع له معنى تشغيلي بربطه بعدد نقط الوميض على سطح ستار معين مغطى بطبقة من أوكسيد الزنك وموضوع في طريق الموجات. ويتناسب مربع سعة الموجة مع عدد نقط الوميض الناتجة فوق مربع المساحات من سطح الستار الموجود على مسافة معينة من الحاجز، أو بعبارة أخرى، يتناسب مع احتمال حدوث ومضة على مساحة معينة من سطح الستار. وعند وجود ترتيب عملي معروف، مثل فتحتي الحاجز، فإن الخطة المفاهيمية للموجة تسمى بالصياغة الرياضية لميكانيكا الأمواج. وهي تحدد سعة الموجة في هذه الصياغة تحديداً فريداً إذا عرفت الترتيبات العملية الابتدائية.

وعلى أية حال، فإننا بسبب المعنى التشغيلي للموجة يمكننا فقط أن نعرف متوسط عدد الومضات التي ستظهر في وحدة الزمن فوق منطقة معينة من الستار، ولكن لن يمكننا أبداً أن نتنبأ بالموضع الدقيق وباللحظة الدقيقة التي ستحدث فيها ومضة معينة. ولذلك يجب أن نقول إنه ليس هناك قانون سببي يمكننا بواسطة الترتيبات الابتدائية من معرفة الموضع الدقيق لأي ومضة مفردة فوق الستار. ويمكننا أن نحسب القيمة المضبوطة لسعة الموجة عند كل نقطة، إلا أننا لا يمكن أن نشاهد هذه السعة؛ فهي ترتبط فقط بالظواهر بواسطة التعريف التشغيلي للسعة بأنها تتناسب مع احتمال وجود الجسيم في منطقة معينة. ولتوخي الدقة لا يصح أن نتكلم عن «وجود جسيم في المنطقة» إذ انه لا توجد جسيمات في واقع الأمر. فيجب أن يكون كلامنا عن احتمال وجود ومضات في منطقة معينة أو عن تردد الومضات في هذه المنطقة. ومن ثم فإن الصياغة الرياضية المشتملة على التعريفات التشغيلية لرموز هذه الصياغة تزودنا بالقواعد التي تربط الترتيبات الابتدائية «بالنتائج المنظورة». لقد افترضنا في هذا المثال أن الحاجز ذا الفتحتين يتصل

اتصالاً صلباً متماسكاً بالإطار القصوري. أما إذا كان متصلاً بواسطة زنبرك مرن فإننا لن نشاهد نموذج الحيود ذا النهايات العظمى والصغرى المنتظمة لاحتمالات الوميض؛ ولكننا بدلاً من ذلك سوف نشاهد تحركات الحاجز بالنسبة للإطار وسوف نستطيع أن نحسب احتمال وجود زخم معين إذا كنا نعرف سعة موجة دي برولوي.

وعلينا فيما سبق أن قدمناه أن نكتفي فقط بالظواهر المنظورة التي لها نفس نمط الظواهر التي نشهدها في حياتنا اليومية. مثل الومضات التي تحدث على سطح الستار، أو زخم الأجسام المتوسطة الحجم (مثل الحاجز). وتتناسق تلك الظواهر مع بعضها البعض بواسطة الصياغة الرياضية، وأمواج دي برولوي، والتعريفات التشغيلية - ولكي نوضح أننا لا نستخدم في هذا التقديم «خصائص فيزيائية اصطلاحية» كما سماها بوهر، فسوف نقدم صياغة لا تستخدم أية ألفاظ تذكرنا بهذه الخصائص الاصطلاحية. نستطيع أن نقول: اذا مر «شيء ذري» من المصدر الى الستار خلال الحاجز: فإن الحيز الواقع بين المصدر والستار يكون في حالة تنشأ عنها في بعض الظروف أحداث تقع في مساحة صغيرة جداً حول نقطة هندسية، مثل الومضات على سطح الستار (أحداث نقطية)، أو تنشأ عنها في ظروف أخرى أحداث ذات اتجاه معين مثل الدفعات التي يكتسبها الحاجز (أحداث دفع). ويمكن التنبؤ بكل من نمطي الإحداث بواسطة الصياغة الرياضية، ليس على نحو فردي ولكن على نحو إحصائي؛ فنحن نتنبأ بعدد الأحداث النقطية أو أحداث الدفع التي تقع في المتوسط في منطقة معينة من الفضاء.

ومن المهم أن نتذكر دائماً أن مثل هذا التقديم يلائم أغراض الفيزيائي المشتغل بالأبحاث الذرية أو بالتطبيقات التكنولوجية للنظرية الذرية. ويمكننا، كما فعل ريشنباخ أن نسمي مثل هذا النوع من التقديم «بالتفسير التقييدي» للفيزياء الذرية. إننا نقيد أنفسنا فنمنعها من أن تسأل بعض أسئلة تبدو طبيعية جداً وقد طرح اقتراح باستخدام تعبير قدمه ب. و. بريدجمان(٨). إذا وجدت ومضة نقطية فوق ستار فان ذلك سوف يدعونا الى القول بأن جسيماً قد صدم الستار عند هذه النقطة، وإلى أن نسأل عما هو المسار الذي اتخذه الجسيم للوصول الى الستار.

وبنفس الطريقة، إذا كان الحاجز متحركاً فإن ذلك يحملنا على القول بأن الحاجز قد تلقى صدمة من جسيم متحرك واكتسب منه زخماً. وإذا حاولنا ايجاد مسار الجسيمات التي أحدثت الوميض فإننا نخلق مشاكل لا علاقة لها بالظاهرة. سوف نسأل أسئلة لا تطرحها قضية تحسين تنبئنا بالظواهر المنظورة أو قضية تحسين وسائلنا الفنية لتطوير الأجهزة المعاونة. وإذا بحثنا عن «مسار جسيمات لا وجود لها» فإننا في الواقع نحاول بذلك أن نصف ظواهر الفيزياء الذرية بلغة شبيهة قدر المستطاع باللغة التي نصف بها تجارب حياتنا اليومية، أو، بعبارة أخرى، نحاول البحث عن نظرية لا تختلف كثيراً عن تفسير الفطرة السليمة.

٥ ـ الظواهر، والظواهر البينية

حاول هؤلاء الذين لم يقتنعوا بالتنبؤ بالنتائج العملية بواسطة الصياغة الرياضية أن يقحموا سلاسل غير منظورة من الأحداث من نوع أصبح مألوفاً لدينا في التفسيرات التقليدية لظواهر ضوئية تحدث بين الترتيبات الابتدائية والنتائج المنظورة. ومثل هذه الأحداث هي، قبل أي شيء، تحرك جسيمات وانتشار موجات في الوسط. وقد سمى ريشنباخ هذه الأحداث «بالظواهر البينية»، خلافاً للظواهر المنظورة والترتيبات العملية والنتائج المنظورة.

ومن المؤكد أن النصوص الخاصة بهذه «الظواهر البينية» ليست محددة تحديداً غير مبهم من خلال وصف التجربة: الترتيبات الابتدائية والنتائج. ولذلك فإنه من المعقول أن نتمكن من اقحام عدة سلاسل من «الظواهر البينية» دون أي تغيير في الترتيبات العملية أو النتائج المنظورة. ومن ناحية أخرى، لا يمكننا أن نقحم في كل تجارب الأشياء الذرية نفس النوع من الظواهر البينية. ولو كان ذلك ممكناً لأمكن تفسير كل ظواهر الفيزياء الذرية والنووية بالقوانين التقليدية، للضوء والميكانيكا. ونحن نعرف، على أية حال أن هذا غير صحيح وأننا نحتاج إلى قوانين تختلف اختلافاً أساسياً مع القوانين الكلاسيكية لنيوتن. ولهذا فقد يكون من الممكن اقحام ظواهر بينية لكل تجربة خاصة في الفيزياء الذرية، إلا أنه ليس هناك نظام للظواهر البينية يمكن استخدامه في كل التجارب الممكنة.

ولكي نفهم دور الظواهر البينية على نحو أيسر. سوف نشرحها بواسطة مثال

بسيط استخدمه ريشنباخ[٩]. وكما فعلنا في أقسام سابقة، سوف نعتبر حالة مرور أشياء ذرية خلال فتحة في حاجز، والنتائج المنظورة لهذا الترتيب العملي. تظهر النهاية العظمى الأولى والنهاية العظمى الثانية لعدد الومضات عند الزاوية $\varphi=0$ (المركز) والزاوية $\varphi = \lambda/b = h/mvb$ (نحن نناقش هنا حالة الحيود الناشىء عن فتحة واحدة عرضها b). الظاهرة الوحيدة المنظورة هي توزيع الومضات فوق سطح الستار؛ لكن ريشنباخ رأى امكانية اقحام ظاهرة بينية وهي «التفسير الجسيمي». فيمكننا طبقاً لريشنباخ أن نفترض أن جسيمات تمر بالفتحة وأنها تنحرف طبقاً لقانون احتمالات يحدد توزيع الجسيمات بحيث تقع نهايتها العظمى عند الزوايا $\varphi = 0, \varphi = h/mvb, \varphi = 2h/mvb$

وهذا قانون بشأن حركة جسيمات حقيقية، رغم أنه يختلف كثيراً عن القوانين التقليدية. فالجسيمات يكون لها موضع وسرعة محددان عند أي لحظة كما في الميكانيكا النيوتونية.

ويمكن أن توصف «الظواهر البينية» على حدة دون اعتبار للترتيبات العملية التي تعتبر الظواهر جزءاً منها. ويسمى ريشنباخ مثل هذا الاقحام للظواهر البينية نظاماً «طبيعياً». وطبقاً لذلك يكون «التفسير الجسيمي» الذي أشرنا إليه نظاماً «طبيعياً» للظواهر البينية لأنه وصف لتواجدات موضوعية أو، كما يقول ريشنباخ، إن القوانين بالنسبة لهذه الظواهر البينية هي نفس القوانين، سواء كانت الأشياء منظورة أو غير منظورة. ويمكننا في هذا الكتاب أن نقول إن قوانين هذه الظواهر البينية (جسيمات متحركة) يمكن صياغتها دون معرفة كل الترتيبات العملية؛ وعلى سبيل المثال، ليس من الضروري أن نعرف ما إذا كان الحاجز مثبتاً أم متحركاً بالنسبة للإطار القصوري. وقد أكد ريشنباخ أيضاً على أن قوانين الظواهر البينية تتفق والقوانين التي تخضع لها الفيزياء الذرية. فالقوانين التي تنحرف الجسيمات طبقاً لها هي قانون إحصائي. والقانون الذي يتبعه المصدر في انتاج الومضات فوق الستار هو أيضاً قانون إحصائي ولكنه قانون بشأن الظواهر. ومن ثم فإنه يمكن قبول «التفسير الجسيمي» على أنه سلسلة ظواهر بينية ملائمة.

أما إذا استخدمنا «تفسيراً موجياً» فستكون لدينا حالة موجات مارة بالفتحة.

وإذا أردنا أن نستنبط حدوث ومضة مفردة فلا بد أن نتتبع حركة الموجة من الفتحة حتى الستار طبقاً لقوانين التداخل. سوف يكون لدينا نهايات عظمى للسعة عند الزوايا $\varphi=0$، $\varphi = h/mvb$ وإذا أردنا أن نحصل على معادلة لومضة عند نقطة معينة على الستار فسوف نفترض أن الأمواج سوف يبتلعها الستار عند هذه النقطة ولا يمكن لها أن تنتشر بعد ذلك. ويكون لدينا في هذه الحالة أيضاً سلسلة «موضوعية» من الأحداث، وهي موجات «حقيقية»؛ لكن هذا «الابتلاع» للأمواج لا يحدث أبداً في دنيا الظواهر المتطورة. ومن ثم فإنه طبقاً لريشنباخ يكون التفسير بالموجات تفسيراً غير سليم بالنسبة للظواهر البينية.

وإذا كانت لدينا فتحتان تفصل بينهما مسافة a، وحاولنا مرة ثانية «التفسير الجسيمي»، فلا بد من أن نضع قانوناً للحركة تنحرف الجسيمات طبقاً له في توافق مع قانون إحصائي حيث تنحرف معظم الجسيمات عند الزاوية $\varphi=0$ والزاوية $\varphi = h/mav$. ومعنى هذا أن الجسيم الذي يمر خلال الفتحة S_1 سوف ينحرف بزاوية φ تعتمد على المسافة بين الفتحة S_1 وفتحة أخرى S_2، وهو تفاعل على بعد. وسيكون هذا قانوناً لتحرك الجسيمات، صالحاً للتطبيق في الظواهر البينية، ولكنه سيكون مختلفاً عن كل القوانين الصالحة للتطبيق في حقل الظواهر. ولذلك رفض ريشنباخ التفسير الجسيمي في هذه الحالة لأنه ليس «نظاماً طبيعياً». أما التفسير الموجي فهو عاجز أيضاً مثلما عجز في حالة الفتحة الواحدة، إذ سوف ينطوي على ابتلاع موجات كروية في منطقة صغيرة من الستار. ولذا فقد اقترح ريشنباخ تفسيراً موجياً معدلاً لا تكون فيه الأمواج كروية ولكنها تتحرك في قنوات تبدأ من S_1، S_2، وتتفرق عند نقطة الوميض. وعلى هذا فقد اعتبر ريشنباخ التفسير الجسيمي في حالة الفتحة الواحدة والتفسير الموجي في حالة الفتحتين على أنهما «نظامان طبيعيان»، وأنهما لذلك نظامان منفصلان للظواهر البينية يمكن اقحامهما بين الظواهر. ونحن نرى أنه في كل تجربة معينة يمكننا اقحام نظام طبيعي للظواهر البينية، لكننا لا نستطيع أن نجد نظاماً واحداً يصلح تطبيقه في كل التجارب.

أما بوهر فإنه يقدم الموضوع دون استخدام أية ظواهر بينية. فهو لا يستخدم الجسيمات «الحقيقية» أو الموجات «الحقيقية» التي يعتمد وصف حالتها على الترتيبات العملية المحيطة.

ولعله من المفيد أن نؤكد على أمرين في مناقشة الظواهر البينية وهي كثيراً ما أسيء تفسيرها وفهمها. لعب هذان الأمران دوراً كبيراً في «المضمون الفلسفي» للفيزياء الذرية الذي سوف يناقش بمزيد من الشمول في (الفصل ١٠). وسوف نقدمها الآن من الزاوية العلمية البحتة مع ربطها الوثيق بما قدمناه في الأقسام السابقة. فكثيراً ما قيل إنه بينما حلت الصورة الموجية للظواهر الضوئية في الفيزياء التقليدية محل الصورة الجسيمية، فان الفيزياء الحديثة تستخدم الصورة الجسيمية في بعض الحالات وتستخدم الصورة الموجية في حالات أخرى. بل إن بعض المؤلفين قد استخدموا صياغة من شأنها أن الشيء الواحد في الفيزياء الذرية يمكن اعتباره جسيماً كما يمكن اعتباره موجة حسب التجربة المعينة المعنية. ويذهب بعض المؤلفين إلى الاعتقاد بأن هذا الشيء هو نوع من الكيانات المهجنة التي لها وجهان، بل إن بعض المؤلفين قد اطلقوا عليه اسماً مختلطاً وهو «الموجسيم» (wavicle). وقد رأينا أن كل هذه الصياغات هي في الواقع صياغات مضللة. «فالتفسير الموجي» و«التفسير الجسيمي» هما نمطان من الظواهر البينية التي اقحمت بين الظواهر المنظورة في الفيزياء الذرية. وكما علمنا من المثال الذي ناقشه ريشنباخ فإنه يمكن استخدام كل من التفسيرين في حالة واحدة بعينها، غير أن واحداً فقط من التفسيرين هو الذي يكون مفضلاً إذا تعين أن تكون السلسلة المقحمة «نظاماً طبيعياً». وفي الواقع أن هذا المطلب لا يعطي معياراً غير مبهم؛ فالظواهر البينية لا تخضع أبداً لكل القوانين التي تخضع لها الظواهر. ويجب دائماً أن نستحدث قوانين معينة، والأمر بعد ذلك متروك للذوق لكي يحكم بما إذا كان نظام معين للظواهر البينية يتفق اتفاقاً أساسياً مع القوانين المطبقة على الظواهر.

ويقول الفريدلاند[١٠] في كتابه المدرسي الجيد أنه يمكن تفسير أي تجربة بواسطة الصورة الجسيمية أو بواسطة الصورة الموجية. ويتفق ريشنباخ بوجه عام مع هذا الرأي. ويضع بعض المعايير التي تقتضي تفضيل إحدى الصورتين عن الأخرى في كل حالة. كتب ريشنباخ يقول:

> **إذا عرفنا دنيا الظواهر، فإننا نستطيع أن ندخل عالم الظواهر البينية بطرق مختلفة؛ وسوف نحصل عندئذ على طبقة من الأوصاف المتكافئة للظواهر البينية، وبعبارة أخرى، إذا كانت لدينا الأوصاف المتكافئة للكون، فإن الظواهر البينية تتغير بتغير**

الأوصاف، أما الظواهر فتمثل اللامتغيرات في الطبقة.

وإذا أدخلنا مع ريشنباخ مفهوم النظام الطبيعي، فإن كل طبقة من الظواهر البينية سوف يمثلها في وصف الكون ذلك العضو الذي يكون نظاماً طبيعياً. فالتفسير الموجي والتفسير الجسيمي ليسا سوى مثلين لنظم الظواهر البينية، وهما نظامان اعتباطيان ومحددان مثل هذه النظم بوجه عام.

والنقطة الثانية التي حيرت الفلاسفة وغير ذوي الخبرة في الفيزياء النظرية أحياناً هي الفشل في التمييز بين التفسير الموجي بالموجات الاصطلاحية الثلاثية الأبعاد وبموجات دي برولوي كخطة رياضية. وتشتمل الأخيرة على معادلة رياضية تستخدم في حساب النتائج المنظورة، مثل الومضات، وذلك من الترتيب العملي المنظور. وليس لهذه الموجات أية علاقة «بالظواهر البينية». إنها تحدد مواضع الومضات طبقاً «للمعنى التشغيلي» لسعة الموجة، ولا تتطلب منا استخدام قوانين فيزيائية مثل ابتلاع الموجة بواسطة نقطة على سطح الستار. ويمكن استنباط كل الحقائق المنظورة في الفيزياء الذرية بواسطة أمواج دي برولوي الرياضية غير أننا لا نستطيع أن نستنتج من هذه الحقائق أن «الصورة الموجبة» أنسب للفيزياء الذرية من «الصورة الجسيمية»، وذلك كما فعل البعض.

٦ ـ تنوع الصياغات في الفيزياء الذرية

يمكننا أن نتجاهل الظواهر البينية كلية إذا كان اهتمامنا بالفيزياء الذرية قائماً فقط على أنها نظام لمبادىء يمكن أن نستنبط منه النتائج المنظورة. وعلينا عندئذ أن نكتفي بالحقائق المنظورة، والصياغة الرياضية للفيزياء الذرية والتعريفات التشغيلية. فهذه تؤلف نظام مبادىء غير مبهم. وكما ذكرنا من قبل، أطلق ريشنباخ على مثل هذا النظام اسم «التفسير التقييدي» للفيزياء الذرية لأنه مقيد بالحد الأدنى من النظرية التي يحتاجها العالم في أبحاثه الواقعية. والعرض المقدم في (القسم ٢) والمتمشي مع خطوط مبدأ التتامية لبوهر هو «تفسير تقييدي»، وإذا وصفنا التجربة مستخدمين الصور الموجية أو الصور الجسيمية فإننا ندخل ظواهر بينية وننجز ما سماه ريشنباخ «تفسيراً شمولياً» للفيزياء الذرية. وقد أوردنا في

(القسم ٥) أمثلة للتفسيرات الشمولية وقد علمنا أن هناك عدداً كبيراً وقد يكون عدداً غير محدود من التفسيرات الشمولية لكل تجربة.

وقد أخذ بعض المؤلفين بالرأي الأكثر مغالاة وهو أن التفسيرات الشمولية «غير ذات معنى» لأنها تتضمن نصوصاً بشأن الظواهر البينية لا يمكن تدقيقها بالمشاهدة. ولكن علينا أن نضع في اعتبارنا، كما جاء بـ(الفصل ٣) (الهندسة) أنه لا يمكن أن ندقق بالمشاهدة نصاً مفرداً، ولكن يمكننا تدقيق النظام ككل. والذي ندققه بالتجربة في حالتنا هذه هو النظام الذي يتألف من نصوص حول الظواهر والظواهر البينية؛ مع التعريفات التشغيلية الوثيقة الصلة. ويمكننا أن نستخدم مجموعات مختلفة من الظواهر البينية والتفسيرات الشمولية، وبالرغم من ذلك فإنها تفسر نفس الحقائق المنظورة. ولنا حرية اختيار الظواهر البينية للوصول إلى نظام مبادىء تكون قريبة قدر المستطاع من تفكيرنا وحديثنا الفطري السليم.

وفضلاً عن ذلك فإن الخط الفاصل بين الظواهر والظواهر البينية لا يمكن تحديده تحديداً دقيقاً. وعلى سبيل المثال، إذا اعتبرنا «مسارات الجسيمات» في غرفة ويلسون السحابية، فهل نرى حقيقة هذه «المسارات»؟ ولتحري الدقة فإننا نشاهد بعض الخطوط القائمة المنقطعة؛ غير أن ريشنباخ يرى أننا ويمكننا القول بأن ما نشاهده هو مصادمات بين الالكترونات والأيونات، أو أننا نشاهد اصطفاف قطرات الماء. قال ريشنباخ:

> **ومن ثم فإن الفارق المنطقي بين فيزياء الظواهر وفيزياء الظواهر البينية (بما في ذلك التفسير الجسيمي والتفسير الموجي) هو مسألة رتبة.... إنه مسألة قرار اختياري حول أي من هذه النظم نعتبره النظام المفضل؛ ولا يمكن أن نقول من أي من هذه النظم أنه مقيد تماماً بالبيانات التي نحصل عليها بالمشاهدة.**

ومن المؤكد أن التفسيرات الشمولية هي تفسيرات اعتباطية لأنه توجد في كل حالة عدة تفسيرات مختلفة يمكن قبولها؛ ومن ناحية أخرى، سوف يكون من الخطأ أن نقول إن التفسيرات الشمولية والصورتين الجسيمية والموجية لا تنبئنا بشيء عن الكون الفيزيائي الموضوعي. ويمكننا أيضاً أن نتخيل كوناً يكون من المستحيل أن نقحم بين ظواهره نظماً من نوع نظم الجسيمات أو الموجات. يقول

ريشنباخ: «إن الطبيعة تسمح لنا، على الأقل على نحو جزئي، أن نبني عالماً من الظواهر البينية المتفقة مع قوانين الظواهر».

وقد عرفنا في أقسام سابقة أن تعبير «موضع الجسيم وزخمه عند لحظة معينة» لا وجود له في أي قانون خاص بالظواهر الذرية، أو، بعبارة أخرى، أنه ليس هناك معنى تشغيلي للتعبير «الموضع والزخم الآنيان للجسيم». وتنتمي هذه النصوص إلى «التفسيرات التقييدية» للفيزياء الذرية لأنها لا تتعامل مع الظواهر البينية. ومع ذلك، فإن عديداً من المؤلفين قد صاغوا هذه النصوص على نحو يجعلها تبدو وكأنها نصوص بشأن الظواهر البينية، وخاصة تلك النصوص الخاصة بالجسيمات المتحركة. وتتحدث هذه الصياغات عن أشياء ذرية متحركة فتقول إنه ليس من المؤكد أن هذه الأشياء كان لكل منها موضع وزخم قبل أن «يشهدها» الكائن الحي. ومع ذلك، فإنه إذا حاول مشاهد بأن يقيس موضعها (الاحداثيات)، فإنه يتداخل بجهاز قياسه مع الشيء الذري على نحو يجعل قياس الزخم مستحيلاً، والعكس بالعكس. فإذا حاول المشاهد أن يقيس الزخم فإن الشيء يتأثر على نحو يجعل قياس الموضع أمراً مستحيلاً.

وإذا استخدمنا الكلمات بمعناها المعتاد فلا بد أن نسمي هذه النصوص نصوصاً لا معنى لها. وحيث إن افتراض أن الشيء الذري يسلك مسلك «الجسيم الحقيقي» هو افتراض غير متوائم مع الحقائق المنظورة للفيزياء الذرية فإن هذا الشيء لا يكون له موضع أو زخم. إننا لا نستطيع قياسهما لأنهما غير موجودين. ولنفس السبب، لا يمكننا إتلاف امكانية قياسهما لأن هذه الامكانية لم توجد قط. وطبقاً لمبدأ التتامية لبوهر ليس «للشيء الذري» في حد ذاته موضع أو زخم. وهذه الكلمات لا تعبر عن صفات الالكترون ولكنها تعبر عن صفات الترتيب العملي ككل. ففي نطاق ترتيب معين يمكن للالكترون أن يكون له «موضع»، وفي نطاق ترتيب مختلف (متمم) يمكن أن يكون له «زخم». فإذا غيرنا الترتيب فإننا نستطيع أن نغير الحالة التي يكون فيها للالكترون موضع إلى حالة أخرى يكون له فيها زخم.

وإذا عبرنا عن هذه الحالة بقولنا «نحن نتلف امكانية قياس الزخم عندما

نشاهد الموضع»، فلا اعتراض لنا على ذلك على شرط أن نتذكر أن «المشاهد» إنما استخدم فقط كصورة من صور الحديث وأنه يمكن استبعاده دون أن يطرأ تغيير على معنى النصوص. والخطر الذي ينجم عن استخدام هذه الصورة من صور الحديث يكمن فقط في احتمال أن يدفعنا ذلك إلى أن ننسى أنه لا توجد في كلمات بوهر صفات فيزيائية اصطلاحية (مثل الموضع والزخم) يمكن أن تتصف بها الأشياء الذرية. وقد ورد في التقرير الذي قدمه نيلز بوهر في محاضرة وارسو عام ١٩٣٨[١١] ما يلي:

> **... ونحذر بوجه خاص من العبارات التي توجد كثيراً في كتب الفيزياء، مثل «ازعاج الظواهر بواسطة المشاهدة» أو«خلق صفات فيزيائية للأشياء الذرية بواسطة القياسات». ولا يجدر بمثل هذه العبارات أن تسبب ارتباكاً حيث إن الكلمات مثل «الظاهرة» و«المشاهدة» مثلها مثل «الصفات» و«القياسات» تستخدم على نحو يتلاءم بصعوبة مع اللغة الشائعة والتعريفات العملية.**

لقد عرفنا في الأقسام السابقة أن الظروف الابتدائية للتجربة في الفيزياء الذرية لا تمكننا من التنبؤ بالنتائج المتطورة بنفس القدر من الدقة كما هو الحال في الفيزياء التقليدية. فعندما نشاهد أشياء ذرية وهي تمر خلال فتحة في حاجز، فلا يمكننا التنبؤ عند أي موضع محدد فوق سطح الستار سوف تنتج الومضة: ومن ناحية أخرى، إذا اعتبرنا الحالة الابتدائية لموجة دي برولوي فإننا يمكن أن نسحب الحالة النهائية للموجة دون ابهام. وهذا يعني أن التكهن (التنبؤ) والسببية يلعبان في الفيزياء الذرية دوراً يختلف على نحو ما عن الدور الذي يلعبان في الفيزياء النيوتونية. وسوف تناقش هذه النقطة بمزيد من التمحيص في (الفصلين ١١، ١٢) (عن السببية).

٧ - حواشي الفصل [٩]

١ ـ قدم هايزنبرج «مبدأ اللايقين» في «Zeitschrift für Physik» المجلد ٤٣ (١٩٢٧). انظر أيضاً مبادئه في نظرية الكم التي ترجمها كارل ايكارت وفرانك س. هويت (شيكاغو: مطبوعات جامعة شيكاغو، ١٩٣٠).

٢ ـ الفصل ٨، قسم ٥.

٣ ـ اتفاق بوهر الذي قدم في هذا الفصل قد أخذ أساساً من مقاله «Discussions With Einshtien on Epistemological Problems in Atomic Physics» (نيويورك: مكتبة الفلاسفة الأحياء، ١٩٤٩، ١٩٥١) المجلد ٧ صفحة ٢٠٩، ٢١٠.

٤ ـ نيلزبوهر، «Nature»، المجلد ١٢١ (١٩٢٨).

٥ ـ كما رأينا في القسم ١.

٦ ـ انظر الحاشية ٣.

٧ ـ نفس المرجع.

٨ ـ في كتابه: «The Nature of Thermodynamics» (كمبريدج: مطبوعات جامعة هارفارد، ١٩٤١). يتحدث بريدجمان عن النفور اللفظي في استخدام جمل مثل «energy had entered» (دخلت الطاقة)، كما لو كانت «الطاقة» شيئاً متحركاً.

٩ ـ هانز ريشينباخ (١٨٩١ ـ ١٩٥١)، «Philosophie Foundations of Quantum Theory» (بيركلي: مطبوعات جامعة كاليفورنيا، ١٩٤٤).

١٠ ـ الفريد لاند فيزيائي الماني موجود الآن في الولايات المتحدة. نشر «Quantum Theory» (نيوهافن: مطبوعات جامعة ييل، ١٩٥٥).

١١ ـ أعد اجتماع وارسو (١٩٣٨) بواسطة المعهد الدولي للتعاون الثقافي التابع لعصبة الأمم. وقد نشرت محاضر جلساته أولاً في باريس عام ١٩٣٨. الترجمة الانجليزية «New Theories of Physics» (نيويورك: مطبوعات جامعة كولومبيا، ١٩٣٨).

[١٠]
تفسيرات ميتافيزيائية للكون الذري

١ ـ «العنصر الروحي» في الفيزياء الذرية

بالرغم من أنه، من الوجهة العلمية البحتة، تختلف النظريات الجديدة في الفيزياء الذرية الفرعية (نظرية الكم وميكانيكا الكم) اختلافاً كبيراً عن نظرية النسبية، فإن التفسيرين الميتافيزيائيين لكل من نوعي النظريات (النسبية والكم) يشبه كل منهما الآخر في كثير من الوجوه. وقد نشأت دعـوى بإدخال «عنصر عقلي» في الكون الفيزيائي ويدحض مذهب «المادية». ومع ذلك، ففي الوقت الذي فسرت فيه نظرية النسبية على أنها دعم للإيمان «بالقضاء والقدر» (مذهب الحتمية)، فقد اعتبرت نظرية الكم دعماً لمذهب «الإرادة الحرة».

ولكي نفهم وقع نظرية الكم على تصورنا العام للكون فهماً واضحاً، فقد يحسن بنا ألا نسأل الفلاسفة والعلماء، وأن نسأل الكتاب الذين عبروا عن مشاعر القرن العشرين. كتب جورج برنارد شو يقول[١]:

> إن العالم الذي بناه اسحق نيوتن والذي ظل القلعة المنيعة للمدنية الحديثة على مدى ثلاثمائة عام قد تهاوى أمام نقد أينشتاين كما تهاوت جدران المعبد. كان عالم

نيوتن يمثل معقل المذهب العاقل للحتمية: فالكواكب في مداراتها تخضع لقوانين ثابتة لا تتغير، وكذلك تخضع الالكترونات في مداراتها في الذرات لنفس القوانين العامة. إن كل لحظة من لحظات الزمن تحكم اللحظة التي تليها... إن كل شيء يمكن حسابه: وكل ما وقع كان حتماً أن يقع: لقد أزيلت الأوامر من فوق مائدة القوانين وحل محلها علم الجبر الجاري: معادلات الرياضيين.

ويصف شو بعد ذلك الإنسان الحديث، حيث أصبحت لديه فيزياء نيوتن بديلاً للدين التقليدي. ويستطرد شو قائلاً:

هنا كان ايماني. وهنا وجدت عقيدتي في العصمة من الخطأ. وأنا الذي ازدريت الكاثوليكي وهو يحلم هباء بالإرادة الحرة المسؤولة، مثلما ازدريت البروتستانتي بتظاهره بالحكم المتميز.

ويصف شو بعد ذلك كيف تهشم هذا الدين البديل بواسطة الفيزياء الذرية ونظرية الكم في القرن العشرين. يستطرد شو قائلاً «والآن، ـ الآن ـ ماذا بقي من ذلك؟ إن مدار الالكترون لا يخضع لقانون، فهو يختار مساراً وينبذ مساراً آخر. فكل شيء يسير على هواه، والعالم الذي كنت تستطيع الاعتماد عليه فيما مضى لم يصبح موضعاً للاعتماد عليه. وهو يقبل التفسير الواسع الانتشار بأن فشل العلم النيوتوني الميكانيستي قد أسفر عن العودة إلى الميكانيكا العضوانية التي قدمناها فيما سبق[٢] على أنها ميكانيكا أرسطو وسان توماس. ويستطرد شو قائلاً: «إن الغاية والوسيلة، وهما الذريعة لأسوأ المعتقدات الخرافية، قد أطاحا العظمـــاء ووضعا تيجاناً من الورق فوق رؤوس الأغبياء الأدعياء».

وفكرة عودة الحياة إلى مفاهيم العلم العضواني التي أشار إليها شو إشارة عارضة، تناولها كثير من الفلاسفة بكثير من الجدية. ويمكن أن نقتبس ما يلي عن الفيلسوف والكاتب العلمي الألماني برنارد بافنك[٣]:

نجد اليوم في دوائر العلماء الطبيعيين ميلاً إلى نسج الخيوط بين هذه العلوم وبين كل القيم العليا في حياة الإنسان: الله، والروح، حرية الإرادة... إلخ. وقد ظل هذا الميل قائماً قرناً من الزمان.

وقد بين بافنك أن عودة العلوم العضوانية قد نشأت عن «دوافع علمية

بحتة». ويشير بافنك إلى مصادفة هامة، فقد تصادف أن ظهر في نفس الفترة نظام سياسي للحكم، يدعي بعدائه للمذهب المادي، وبأنه قائم على المفهوم العضواني للعلم. ومن الواضح أن هذين النظامين هما الفاشية الإيطالية والنازية الألمانية. وفي الواقع أن التفسير المادي أو التفسير اللامادي للعلم لأينشتاين عادة عن «دوافع علمية بحتة»، ولكنهما يرجعان أصلاً إلى الرغبة في إقامة أهداف لسلوك بشري منشود. ويرتبط هذا التفسير بالميول الاجتماعية والسياسية والدينية.

وقد راق هذا التفسير اللامادي لفيزياء القرن العشرين لأصحاب القضايا الذين كانوا معنيين بإيجاد قاعدة علمية لأهدافهم السياسية. ويشير الجنرال سمطس[٤] الرئيس السابق لوزراء جنوب أفريقيا، إلى أنه كان من الصعب أن تستخدم كلمات مثل «الحياة» و«العقل» في الصورة الميكافستية للكون والذي ظلت سائدة منذ زمن نيوتن. أما مفهوم أينشتاين ومنكوسكي عن أن المكان والزمان لا يظهر كل منهما منفرداً عن الآخر ولكنهما يظهران مرتبطين في قوانين العلوم، فإن سمطس يفسر هذا المفهوم على النحو الآتي: «ومن ثم فإن المادة الفيزيائية للكون هي في الحقيقة والواقع فعل، وليست شيئاً آخر». ويبدأ سمطس بكلمة «فعل» (action) كلفظ فني في الفيزياء، حيث تعني ناتج الطاقة والزمن. وقد استخدمت بهذا المعنى في «مبدأ الحد الأدنى من الفعل» و«عنصر الفعل h» في نظرية الكم.

وقد استخدم سمطس بعد ذلك كلمة «فعل» كما تستخدم في اللغة المعتادة، حيث يبدو معناها أقرب إلى الغموض وقد يشير إلى التحرك الفيزيائي كما قد يشير إلى النمو العضواني أو حتى إلى النشاط العقلي. ويستطرد سمطس قائلاً:

> عندما نقول إننا قمنا بنشاط بدلاً من مادة الكون (خامته)، فإن رأياً جديداً سوف ينشأ. ذلك أن روابط الفعل، كما أن خلع المادة عن عرشها الذي تتربع عليه باعتبارها مفهومنا الأساسي للكون لا بد وأن يترتب عليه تعديل جوهري لآرائنا واطلالتنا العامة. وقد قدمت الفيزياء الحديثة حلاً لبعض المفاهيم القديمة والعسيرة للخبرة البشرية التقليدية، كما حققت تقارباً وتفاهماً بين النظام المادي والنظام العضوي أو الفيزيائي في حدود معينة[٥].

وفي هذا التفسير الميتافيزيائي للفيزياء الحديثة يمكننا أن نرى بوضوح كيف

صارت تماثلات «الفطرة السليمة» في النظريات الحديثة العهد هي النقاط الحاسمة في الجدال؛ وليس علينا سوى أن نعتبر كيف تستخدم كلمات مثل «فعل»، «مادة»، «خامة» و«الوسيط الروحاني». كتب العالم البريطاني جيمس جينز يقول[٦]:

هناك اليوم اتفاق على نطاق واسع يكاد يقترب من الاجماع في الجانب الفيزيائي، على أن سيل المعرفة يتجه نحو حقيقة غير ميكانيكية. لقد بدأ الكون يبدو أقرب إلى الفكرة الضخمة منه إلى الآلة الضخمة. ولم يعد العقل يبدو دخيلاً عارضاً على دنيا المادة. وأحرى بنا أن ننادي به خالقاً وحاكماً لدنيا المادة.

ويفضي كل ذلك إلى الجدال بأن الفيزياء الذرية في القرن العشرين ونظرية الكم يرخصان بادخال العنصر «العقلي» أو «الروحي» في الكون الفيزيائي، بينما تدعو النظرية النيوتونية للكون الفيزيائي إلى استحالة ذلك. ومن المؤكد أن هذا لم يكن رأي نيوتن الذي أدخل مركز الإحساس الإلهي في تفسيره للقصور الذاتي. وإذا شئنا أن نعرف على وجه التحديد إلى أي درجة فسرت الفيزياء الذرية على أنها دعم للمذهب الروحي، حتى بالمعنى الفج للكلمة، فيمكننا أن نرجع إلى أعمال الفيلسوف الألماني المعاصر الويز وينزل، الذي كتب يقول[٧]:

هذا العالم المادي، الذي قد تحدث فيه أحداث تلقائية وحرة... هذا العالم لا يمكن أن يكون عالماً ميتاً. وإذا شئنا أن نضع نصاً بشأن جوهره فإننا نقول إن هذا العالم هو عالم أرواح أولية؛ والعلاقات التي تربط بين هذه الأرواح تحددها بعض القواعد المستقاة من عالم الأرواح. ويمكن أن تصاغ هذه القواعد صياغة رياضية. أو، بعبارة أخرى؛ هذا العالم هو عالم أرواح سفلى يمكن التعبير عن العلاقات المتبادلة بينها بشكل رياضي. ونحن لا نعرف معنى هذا الشكل، ولكننا نعرف الشكل. ولا يمكن أن يعرف ماذا يعنيه هذا الشكل جوهرياً سوى الشكل نفسه أو الله.

وفي هذا التفسير، تفسر شروط الكم التي تحدد مثلاً مستويات الطاقة في ذرة الهيدروجين على أنها أشكال تتبدى فيها «الأرواح السفلى». أما قوانين نظرية الكم التي لا يمكن التعبير عنها بلغة الفطرة السليمة فهي تفسر بتماثلات من الفطرة السليمة «كسلوك الأرواح» تماماً مثل ما كانت القبائل البدائية تفسر شروق الشمس

وغروبها مثل سلوك الكائنات الحية؛ أرقى من الكائنات البشرية ولكنها تماثلها.

ولكي نفهم على نحو أكثر تحديداً الفائدة من استخدام تماثلات الفطرة السليمة في التفسيرات الميتافيزيائية للفيزياء الذرية، يجب أن ندرس مثالين وردا في كتيب لبرنارد بافنك(٨) ويبدأ المثال الأول من أنه في نظرية شرويدنجر الموجية للمادة نجد أن ذرة الهيدروجين توصف بواسطة حل خاص لمعادلة الموجة، أي بتراكب خاص لأمواج دي برولوي. ويفسر بافنك هذه الحقيقة على النحو التالي:

> إن المادة والماديين الذين يعبدونها يسخرون منا قائلين «هناك ذرة واحدة، هي ذرة الأيدروجين، أبسط الذرات. دعوني أرى ماذا تصنعون. إذا استطعتم أن تبينوا لي كيف أفهم أن هذه الذرة هي نتاج لمجرد عملية روحية فسوف أصدقكم». ويبدو أن المذهب الروحي يستطيع اليوم أن يواجه هذا الامتحان.

ومن الصعب من الناحية العلمية أن نفهم لماذا تكون حلول معادلة شرويدنجر أكثر «روحية» من حلول المعادلات التفاضلية في الميكانيكا النيوتونية. غير أن بافنك يدلل بطريق التماثل. فحلول المعادلة الموجية لشرويدنجر (دالة ψ) يمكن تفسيرها على أنها احتمالات؛ والاحتمالات، على أية حال، ظواهر عقلية؛ ومن ثم فإن دالة ψ تفسر كظاهرة عقلية تحدث داخل العقل؛ فذرة الايدروجين يتم وصفها بدلالة ψ ؛ ولذلك فإن ذرة الايدروجين ظاهرة عقلية، وهي ناتجة عن القوى الروحية. وهذا اثبات للقضية ضد المذهب المادي.

ومرة أخرى نرى هنا أن علينا أن نكتفي بالتفسير الفطري السليم للنظريات الفيزيائية. فالنظرية الموجبة للمادة كما سبق تقديمها(٩) لا يمكن صياغتها بلغة الفطرة السليمة. ومع ذلك فإنه من خلال التفسير الميتافيزيائي قيل عن ذرة الهيدروجين إنها ناتجة عن قوة روحية مثلما نعزو حركات أجسامنا إلى القوة الروحية (بلغة الفطرة السليمة)، وكما يعزى خلق المادة (بلغة مألوفة) إلى القوة الروحية لله، والتي نتصورها بدورها مثيلاً للقوة الروحية للإنسان. ويمكننا بطبيعة الحال أن نقدم تفسيراً مماثلاً للفيزياء الميكانستية لنيوتن. فمن اليسير أن نفسر «الجاذبية» و«القصور الذاتي» على أنهما مثيلان للقوى الروحية. ومن الواضح أننا لا بد أن نعترف بأن الفيزياء قديمها وحديثها يمكن تفسيرها روحياً، غير أنه ليس هناك ما يدل على أن

ذلك أمر لازم.

ويعود المثال الثاني الذي اقتبسه بافنك إلى القوانين التي تحكم انتقال الالكترون من أحد المدارات حول نواة الايدروجين إلى مدار آخر. وتحدد لنا قوانين ميكانيكا الكم ما هي المدارات التي يمكن أن يتحرك فيها الالكترون حول النواة؛ غير أنه إذا كان هناك الكترون معين يدور حول النواة، فليس هناك قانون يحدد لنا تحديداً دقيقاً، وفي كل لحظة، ما الذي سيفعله هذا الالكترون في اللحظة التالية ـ هل سيقفز إلى مدار آخر أم لا يفعل؟ وتستطيع النظرية أن تحدد فقط متوسط عدد الالكترونات التي ستقفز في الثانية التالية، ولكنها لا تستطيع أن تحدد ما إذا كان الكترون معين سـوف يقفز أم لا. ويعطي فانك ـ ضمن العمل الذي سبق أن أشرنا إليه ـ تفسيراً لهذا الوضع:

> **يجب أن نتذكر أولاً أن الفعل الأولي المفرد (القفزة) لا يمكن حسابه على هذا النحو، ولكنه يترك حراً؛ وأن نتذكر ثانياً أن الجوهر الحقيقي لهذه الحرية ربما كان حدثاً فيزيائياً... وبعبارة أخرى، إن الاختيار* «الحر» للفعل الأولي، والذي لا تحدده الفيزياء، لا وجود له في الواقع إلا كجزء من «خطة» أو «هيئة» شاملة؛ أو هو جزء من مجموعة متسلسلة من الهيئات أو الأشكال؛ والشكل الأرقى يمتص دائماً الشكل المتخلف ليصنع منه تركيباً أعلى... والجديد في الأمر هو أن الفيزياء تقترح اختبار هذه الفكرة.**

وتتضح الخاصية التماثلية لهذا التفسير في هذه الحالة. فبما أن قواعد ميكانيكا الأمواج لا يمكن صياغتها بلغة الفطرة السليمة، فإن المؤلف يقارن سلوك الالكترون بسلوك الكائن الحي «الحر» في اختيار ما يفعله في اللحظة التالية. وقد استخدمت كلمة «حر» هنا في لهجة الفطرة السليمة الغامضة التي بمقتضاها نصف ما يفعله الكائن الحي بأنه فعل «حر» لأننا لا نعرف القواعد التي نستطيع أن نحدد بها ما سوف يفعله في اللحظة التالية. وبعد أن ترسخ وجود «الحرية» في العالم الفيزيائي فإن المرء يستخدم هذه «الحقيقة» لكي يصبح من المعقول أن تكون القرارات البشرية قرارات «حرة». فمن المؤكد أن الانسان لا يمكن أن يكون أقل تحرراً من الشيء الفيزيائي غير الحي. وقد كان تبرير مذهب الارادة الحرة بواسطة الفيزياء الذرية واحداً من الأسباب التي أعلن من أجلها مراراً أن الفيزياء قد

صارت اليوم أكثر تآلفاً مع الدين التقليدي عما كانت عليه لقرون مضت.

وبطبيعة الحال، يجب أن نذكر أن نصوصاً مثل «أدخلت التقدمات الأخيرة في الفيزياء عوامل عقلية في العلم»، أو «إن العلوم الحديثة تبرر مذهب «الارادة الحرة»، هي نصوص لا تتحدث عن الفيزياء من «الوجهة العلمية». إنها في الواقع تتناول التفسيرات الميتافيزيائية للنظريات الفيزيائية الأخيرة. ولكي نحدد المعنى الدقيق لهذه النصوص يجب أن نقول: إن الفيزياء المعاصرة قد تعرضت لتفسير ميتافيزيائي، وطبقاً لهذا التفسير يعتبر الالكترون ناتجاً عن قوى روحية، كما أنه في قفزه من مدار إلى مدار إنما يمارس عملاً من أعمال الإرادة الحرة. ومن ثم فإن علينا أن نتساءل عما إذا كانت الميكانيكا النيوتونية لا تستطيع أن يكون لها تفسير ميتافيزيائي يرخص بادخال القوى الروحية والارادة الحرة إلى الفيزياء. وبما أن كل هذه التفسيرات هي في الأساس عرض لتماثلات من الفطرة السليمة للنظريات الفيزيائية فيمكننا فقط أن نتساءل عما إذا كان من الأقرب إلى «الطبيعة» أو إلى «الفطرة السليمة» أن نفسر ميكانيكا الكم بواسطة القوى الروحية وألا نفعل ذلك بالميكانيكا النيوتونية.

٢ ـ تفسيرات شائعة للفيزياء الذرية

يوجد تفسير الفيزياء الذرية الشائع بين الفلاسفة والمربين ورجال الكنيسة، وأيضاً بين كثير من العلماء والرجال العاديين المهتمين بالعلم، في كتب مثل كتاب The Limitations of Science لمؤلفه ج.و.ن. سوليفان ويقدم المؤلف في هذا الكتاب البرهان الواضح على أن فيزياء القرن العشرين قد أعادت إلى الكون دور الروح الذي لفظه نمط الفيزياء النيوتونية. وبما أن هذا البرهان قد ورد في كثير من الكتب والمقالات والمحاضرات فقد يكون من المفيد أن نقدمه الآن. كتب سوليفان أن العلوم الميكانستية التي سادت منذ القرن السابع عشر قد افترضت أن:

> من بين عناصر خبرتنا جميعها نجد أن تلك العناصر التي نعرف بها جوانب الجاذبية لظواهر المادة (مثل الكتل والسرعات) هي وحدها التي لها صلة بالعالم الحقيقي. وليس هناك غيرها من عناصر خبرتنا (مثل تمييزنا للألوان، وتجاوبنا مع الجمال، وإحساسنا بالارتباط الخفي بالله) ما يمكن أن يكون له نظير موضوعي.

ويؤكد سوليفان على أن فيزياء القرن العشرين لا تتحدث عن «حقيقة» مثلما تحدثت الفيزياء الميكانستية عن «المادة والحركة». ويدعى سوليفان أننا في النسبية ونظرية الكم «لا نحتاج إلى معرفة طبيعة الأشياء التي نناقشها ولكننا نحتاج فقط إلى معرفة بنيتها الرياضية، وهو في واقع الأمر كل ما نعرفه». ولدينا المعادلة التفاضلية لأينشتاين عن مجال الجاذبية، أو عن المجال المشترك للجاذبية والكهرومغنطيسية؛ ولدينا معادلة الموجات لشرويدنجر أو ديراك. وإذا زودناهما بالتعريفات التشغيلية فإن كلًا منهما يرشدنا إلى كيفية التنبؤ بالمشاهدات المقبلة، ولكنهما لا ينبئاننا قط بالحقيقة الفيزيائية التي تنطوي عليها هذه البنية الرياضية، بينما أنبأتنا فيزياء نيوتن أن المعادلات تنطوي على حقيقة تتألف من «مادة» متحركة. ويجادل سوليفان قائلًا: «يقتصر العلم على معرفة النية، ومن الواضح أن هذا الأمر ذو أهمية «بشرية» كبرى. لأن ذلك يعني أن مشكلة طبيعة الحقيقة ليست مقررة سلفاً». وبما أننا لم نعد مضطرين إلى الاعتقاد بأن «المادة المتحركة» هي وحدها الشيء «الحقيقي» فإننا لم نعد مضطرين إلى الاعتقاد بأن تجاوبنا مع الجمال أو أن إحساسنا بالارتباط الخفي بالله ليس لهما نظير موضوعي. فمن الممكن تماماً أنهما مفتاحان للغز طبيعة الحقيقة وهو اعتقاد كثيراً ما كان سائداً».

ويمثل هذا البرهان تأكيداً لانقسام حاد في تطور الفيزياء؛ ففي فترة الفيزياء الميكانستية (النيوتونية) اعتبرت الكتل المادية وحدها وتحركاتها على أنها حقائق، بينما لا تذكر فيزياء القرن العشرين أي شيء عن ماهية الحقيقة. وعليه فإن الفيزياء النيوتونية تعترض على اعتبار «الجمال والايمان الديني» حقيقتين، بينما تتواءم نظرية النسبية ونظرية الكم مع الاعتقاد بأن «الجمال والإيمان» حقيقتان. ومن المؤكد أن هذا السرد قد بولغ في تبسيطه مبالغة كبيرة. فالتأكيد على أن الكتل المادية هي وحدها الشيء الحقيقي ليس مرتبطاً بالفيزياء النيوتونية ارتباطاً لا ينفصم عراه. فقد كان هناك في النصف الأخير من القرن التاسع عشر، على سبيل المثال، مدرسة الطاقيين، التي يؤمن أصحابها بأن الكتل المادية ليست حقيقية اطلاقاً وأن «الطاقة» هي الحقيقة الوحيدة في الفيزياء. وفي الواقع أن هذه المدرسة التي كان يقودها رانكين في انجلترا، واوستوالد في المانيا، ودوهيم في فرنسا، قد ادعت فعلًا أنه بناء على هذا التفسير لا يمكن أن نستبعد عن «الحقيقة» أشياء مثل الجمال والإيمان.

ونجد في المدرسة الطاقية، وخاصة بين أتباع أوستوالد، محاولة معينة لاعتبار الأشياء العقلية مثل الحظ والجمال، والحماس... الخ على أنها نوع من «أنواع» الطاقة.

ومن ناحية أخرى هناك علماء وضعوا نصوصاً بشأن «الحقائق» التي تقوم عليها نظريات ميكانيكا الكم. وعلى سبيل المثال، يؤكد بعض المؤلفين على أن الحقيقة الوحيدة في فروع الكيمياء الذرية تتألف من أمواج دي برولوي. ونجد عندئذ، بالطبع، نفس الصعوبة كما هو الحال في الفيزياء الميكانستية؛ إن الأقرب إلى العقل أن نعتبر الجمال والارتباط الخفي بالله أمواجاً، لا أن نعتبرهما مثل الكتل المادية. فكل الأشياء العقلية، مثل الجمال، والخبرة الدينية، الخ، لم تعد جزءاً من ميكانيكا الكم أكثر مما هي جزء من الفيزياء النيوتونية. فهي تضاف كتفسيرات ميتافيزيائية، كما أنها يمكن أن تضاف كذلك على أساس الفيزياء النيوتونية.

ويمكن بعبارة أخرى أن نقول إن هذه الأشياء العقلية تدخل العلم كنظائر (مثيلات) لخبرة الفطرة السليمة. ويتمثل الانقسام الحقيقي الوحيد في أن مبادىء فيزياء القرن العشرين أبعد كثيراً عن فروض الفطرة السليمة إذا قورنت بمبادىء الفيزياء النيوتونية. وعلى سبيل المثال إذا فسرنا مبدأ اللاحتمية(١١) بواسطة تماثلات الفطرة السليمة فسوف نصل إلى نصوص بشأن ظواهر عقلية من نوع «أعلى» أو بالأحرى أكثر تعقيداً. فنحن نقول إن العالم متحرر من السلسلة الحديدية للسببية؛ وأن الالكترون، كما يقول سوليفان(١٢) هو الآن شيء غامض. إنه ليس شيئاً محدداً واضحاً مثل «الذرة المادية الصلبة عند الفيكتوريين»، وهو يلمح بذلك إلى أن التفكك في ميثاق السلوك الفيكتوري الصلب قد يكون متعلقاً بالفيزياء الذرية الجديدة. ويصوغ الفيزيائي البريطاني الشهير جينز تماثلاته الفطرية السليمة من خلال مقارنة الكون بالسجن فيقول(١٣):

> **ويبدو أن الفيزياء الكلاسيكية تحكم المزاليج فوق الباب المؤدي كل حرية للإرادة. وتجد الفيزياء الجديدة صعوبة في أن تفعل ذلك. بل إنها تبدو تقريباً وكأنها تدعو إلى أن يفتح الباب إذا أمكن العثور على مقبض له. وتكشف لنا الفيزياء عن عالم يبدو أقرب إلى السجن منه إلى مكان للاقامة فيه. أما الفيزياء الجديدة فتبين لنا العالم وكأنه يمكن أن يهيىء مكاناً مناسباً لكي يقيم فيه الإنسان**

الحر، وليس مجرد مأوى يلوذ به ـ إنه بيت يمكننا على الأقل أن نشكل فيه الأحداث وفقاً لرغباتنا وأن نعيش فيه حياة جهد وانجاز.

ومن المفيد أن نعرف كيف تبدو هذه التفسيرات عندما تنبثق من كتب الفيزياء عن طريق كتب الفلسفة لكي تصل إلى المجلات الدورية لتساعد في توعية الإنسان المثقف غير المتخصص ـ يقول كاتب التربية والسياسة الشهير إروين د. كانهام(١٤):

عشنا طوال القرن التاسع عشر وجزءاً من القرن العشرين في جو مذهب مادي واثق بنفسه.... كان عالماً ميكانستيا وكنا نجلس فوق قمته. كنا نمسك بالقوى الظاهرية للمادة، وكانت المادة هي إلهنا. كان العالم الطبيعي يتحدى الوحي الروحي للانجيل بنظريات في الالحاد والعقلانية. ويمكن للمرء أن يقول إن هذه الحقبة للمذهب المادي قد امتدت حتى يوم انفجار القنبلة الذرية فوق هيروشيما... وأظن أنه يصح لي أن أقول إن المادة قد انتحرت الآن ـ وأنه قد تكشف لنا أن المادة لم تعد قادرة على أن تحمي أو تنفع أي انسان في أي مكان ما لم توجه الأفكار التي تسندها نحو مفاهيم جديدة للاتكال المتبادل.

ويؤكد هذا الجدل بحق على أن المادة التي انفجرت من القنبلة ليست هي المسؤولة عن الخير والشر المترتبين عن الانفجار، ولكن المسؤول هم الرجال الذين يهددون بعضهم البعض على نحو يجعل الأبحاث والتصنيع والعمليات العسكرية تعقب ذلك كنتيجة لهذه الضغوط البشرية. كان هذا هو الوضع عندما انفجرت «القنابل الأورثوذكسية» طبقاً لقواعد الفيزياء النيوتونية، تماماً كما انفجرت قنبلة هيروشيما طبقاً لقواعد فيزياء القرن العشرين. وفي هذا الصدد كتب كانهام يقول:

أصبح معظم العلماء الطبيعيين يقرون بالمفهوم الجديد بالكون الذي فقدت فيه المادة حقيقتها وصلابتها القديمتين. كان هؤلاء العلماء يشعرون في القرن التاسع عشر بأنهم يعرفون الإجابة عن كل سؤال وأن الكون مغلف على شكل لفافة ميكانستية أنيقة. واليوم تحوم تفسيراتهم حول «مبدأ اللايقين» لهايزنبرج. وهذا تغيير يبعث على الأمل.

وهذه الصيغة مثال جيد جداً يبين كيف يمكن «لتماثلات الفطرة السليمة» المستخدمة في تقديم الفيزياء الحديثة أن تكون مضللة إذا أخذنا بحرفية مثل هذه

الصيغ. فالفيزيائيون القدامى الذين «عرفوا كل الإجابات» يوضعون في موضع التناقض مع الفيزياء الحديثة التي يسود فيها «مبدأ اللايقين». ومما قدمناه عن «الواجهة العلمية» للفيزياء الذرية الفرعية يمكن للمرء أن يرى بوضوح أن كلمة «اللايقين» الواردة في مبدأ هايزنبرج لا تعني «لا يقين بالنسبة لحقيقة النظرية العلمية». إنها تشير إلى الغموض الذي لا بد أن ينشأ في وصف نظام فيزيائي إذا حاولنا أن نستخدم في ذلك المفاهيم النيوتونية القديمة مثل «الجسيمات». ولا بد أن نتذكر قبل كل شيء أن كلمة «حقيقة» نفسها تنتمي إلى تلك «التماثلات الفطرية السليمة» إذا استخدمناها خارج نطاق لغتنا الفطرية السليمة. ويمكن للمرء أن يكرس مزيداً من الدراسة المتمحصة للطريقة التي استخدمت بها كلمتا «حقيقي» و«حقيقة»، ولأهمية تلك الكلمتين بالنسبة للعلاقة بين العلوم الفيزيائية بمعناها الدقيق واستخدام هذه العلوم للتأثير على السلوك البشري.

٣ ـ العلم والميتافيزياء في مبدأ اللاحتمية:

عرفنا[١٥] الواجهة العلمية للفيزياء الذرية الفرعية، وعرفنا كيف نتنبأ حسابياً بالتوزيع الإحصائي المستقبلي للأحداث النقطية ولأحداث الدفع (الناشئة عن استخدام قوة مفاجئة) إذا كانت الظروف الابتدائية للتجربة معروفة. والطريقة المستخدمة في هذا التنبؤ هي تكامل المعادلة الموجية لشرويدنجر، وحساب موجة دي برولوي التي تصفها داله ψ ، وتطبيق التعريف التشغيلي حيث يكون مربع ψ هي متوسط عدد الأحداث النقطية التي تقع في منطقة معينة.

وتتم كل الناحية العملية في الفيزياء الذرية الفرعية على هذا النحو تقريباً. وعلى سبيل المثال لدينا الحالة التي نريد فيها أن نتنبأ بعددنويات اليورانيوم التي سوف تنشطر بتأثير النيوترونات لأن لهذا التنبؤ علاقة كبيرة بتطبيق نظرية الكم في انتاج الطاقة النووية. هذا النوع من التنبؤ هو من الناحية الرياضية من نفس نوع أي تنبؤ بعدد الأحداث النقطية في منطقة معينة. ولذلك فإن كل الجزء التجريبي من العمل يتم دون التفات إلى مبدأ اللاحتمية. ويأتي دور هذا المبدأ فقط عندما نسأل إلى أي درجة يمكننا صياغة هذه المسألة باستخدام المفهوم التقليدي للجسيمات التي تمر في مسارات «في الزمان والمكان»، أو بعبارة أخرى،

الإحداثيات المتعامدة x, y, z التي يمكن أن نصفها كدلائل متواصلة من دلائل الزمن t. وقد وضح من أعمال رجال مثل هايزنبرج وشرويدنجر ودي برولوي أن الحدث النقطي لا يمكن التنبؤ به بإدخال مسارات تمر بنقط المكان الذي ستقع فيه الأحداث. فهذا التنبؤ لا يمكن أن يتم إلا بحساب الدالة ψ وبتطبيق معناها التشغيلي.

وعلى أية حال، فإن ذلك يقدم وصفاً للطريقة المستخدمة في الفيزياء الذرية. فنحن نستخدم مفاهيم تختلف كثيراً عن تلك المفاهيم التي نصف بها الكون في لغتنا الفطرية السليمة التقليدية. و«مبدأ اللاحتمية» هو محاولة لإدخال مفاهيم الفطرة السليمة مثل الجسيمات والمسارات التي تنطوي بالطبع على الجسيم المتحرك في مسار تكون له في كل لحظة إحداثيات محددة ومركبات محددة للسرعة. وقد بذلت محاولات لابتكار قوانين لحركة الجسيمات بحيث تكون نتائجها المنظورة مطابقة للنتائج التي نحصل عليها بتطبيق ميكانيكا الكم، أي بحساب دالة ψ من المعادلة الموجية لشرويدنجر. ولكي نصوغ مثل هذه القوانين الخاصة بسلوك الجسيمات، علينا بالطبع أن نهجر مفهوم المسارات التي تسلكها هذه الجسيمات؛ إن افتراض وجود الجسيمات سوف يؤدي إلى محاولة الحصول على نتائج ميكانيكا الكم من الميكانيكا النيوتونية. ولذلك سوف يكون من الضروري وضع قوانين حركة جديدة تماماً.

ولكي نحصل على نتائج ميكانيكا الأمواج بواسطة وصف سلوك الجسيمات علينا أن نستحدث مفاهيم مثل «لا حتمية الإحداثيات» أو «زخم الجسيم» أو «متوسط عدد اصطدامات الجسيم بمنطقة معينة من الستار».... وهكذا. وتختلف هذه القوانين الخاصة بسلوك الجسيمات بطبيعة الحال اختلافاً كبيراً عن القوانين النيوتونية وكذلك عن افكارنا الفطرية السليمة بشأن الجسيمات. وعلينا، كما بين بوهر، ألا نعزو إلى الشيء الذري (مثل الالكترون) شيئاً من الخواص التقليدية للجسيم. إن «موضع الجسيم وسرعته» هو كما عرفنا[١٦] تعبير ليس له معنى تشغيلي إذا طبق على الجسيمات الصغيرة. ولكي «نقرب هذه الجسيمات إلى الطبيعة البشرية» وهي جسيمات ليست لها الصفات التقليدية للجسيمات، علينا

أن نسأل كيف يسلك الجسيم إذا كانت له الصفات التقليدية ولكنه صغير جداً. سوف نحصل عندئذ على النتيجة الشهيرة التي كان هايزنبرج أول من أعلنها: إذا حاول المرء قياس موضع الجسيم فإنه سيفسد قياس زخمه، والعكس صحيح.

وتحمل هذه الطريقة في الكلام شبهاً معيناً بخبرة الفطرة السليمة؛ فهي تحافظ على عادة الكلام عن الجسيمات التي تعبر مسارات حقيقية؛ فالجسيمات هنا «ذات» موضع وزخم غير أنه لا يمكن مشاهدتها في وقت واحد. وهذه الطريقة من الحديث طريقة سليمة إذا اعتبرناها مثيلاً مستمداً من خبرة الفطرة السليمة. وإذا ادعينا أن هذا هو ما يحدث فعلاً فإن هذه الطريقة في الكلام تصبح «تفسيراً ميتافيزيائياً» للسلوك الواقعي للأشياء الذرية. وقد أصاب الفريد لاند(١٧) عندما قال في كتابه الممتاز عن ميكانيكا الكم: «ومن المخالف للفيزياء أن نقبل فكرة أن هناك جسيمات ذات مواضع وزخوم محددة عند لحظة معينة، وأن نسلم عندئذ بأن هذه البيانات لا يمكن تدقيقها عملياً، كما لو كان الأمر نزوة خبيثة من نزوات الطبيعة».

وقد أصاب لاند أيضاً عندما بين بوضوح أننا يمكن أن نتجنب هذا التفسير الميتافيزيائي باتباع الطريقة التي وصف بها نيلز بوهر الحالة التي يجب أن تطبق فيها شروط اللاحتمية. قال بوهر في وضوح:

> عندما يمكن تفسير الترتيبات أو الحالة العملية بدلالة جسيمات تحدد مواضعها في نطاق Δx، فإن نفس هذه الترتيبات أو الحالة لا يمكن تفسيرها بدلالة جسيمات تكون زخومها محددة بدقة أكبر من $\Delta px=h/\Delta x$ والعكس صحيح.

والواضح أنه طبقاً لبوهر يمكن تفسير كل حالة أو ترتيب بواسطة الجسيمات، لكنه لا يقتضي أن تكون الجسيمات «موجودة». واذا تقيدنا بالطريقة التي قدم بها بوهر قوانين الظواهر الذرية الفرعية فإن النظرية الفيزيائية لهذا النمط من الظواهر سوف لا تختلف من حيث المبدأ عن أي نظرية فيزيائية. ستكون لهذه النظرية نفس البنية المنطقية العامة التي وصفناها سابقاً من خلال مناقشة الحالات الخاصة. أما التفسيرات الفلسفية التي أدخلها مبدأ اللاحتمية لهايزنبرج ومبدأ

التامية لبوهر فإنها لا تضيف أي غموض أو شيئاً غير عقلاني إذا تذكرنا أن هذين المبدأين هما تفسيران للظواهر الذرية الفرعية بالمعنى الذي وصفناه سواء في هذا الفصل أو في الفصل التاسع عن الظواهر الذرية الفرعية من الوجهة العلمية البحتة.

وإذا أخذنا هذه «التفسيرات» مأخذ الجد، أي إذا اعتبرناها نصوصاً بشأن الحقيقة، فإنها سوف تؤدي بنا إلى «مشاكل». فعندما نسأل ما هي الأشياء الفيزيائية «الحقيقية» في الفيزياء الذرية الفرعية (فيزياء أجزاء الذرة) فإننا بذلك نسعى إلى المتاعب. هل الجسيمات «حقيقية» أم هل أمواج دي برولوي (التي تصفها دالة ψ «حقيقية»؟ فإذا قلنا إن «الجسيمات حقيقية» فما معنى أن نقول إن «جسيماً حقيقياً» له من لحظة معينة موضع «غير محدود»؟ ومن ناحية أخرى، إذا قلنا إن موجات دي برولوي «حقيقية» يجب أن نلاحظ أن المعنى التشغيلي للدالة ψ يتصل باحتمال وقوع أحداث نقطية في حيز معين. وإذا قلنا إن «موجات الاحتمال» هذه موجات «حقيقية» فإننا نستخدم كلمة «موجة» بنفس المعنى المستخدم في تعبير مثل «موجة الانتحارات» و«موجة الأمراض»، الخ. فالحديث عن «موجة الانفلوانزا» «كموجة حقيقية» يمثل استخداماً غير معتاد لكلمة «حقيقي».

ويناقش هنري مارجينو[١٨] المؤلف الشهير في الفيزياء وفي فلسفة العلوم موضوع الحقيقة في الفيزياء الذرية الفرعية وميكانيكا الكم مناقشة متمحصة. وسوف نتقيد بمشكلة ما إذا كان من الممكن في الفيزياء الذرية الفرعية اعتبار الجسيمات (الالكترونات والنيوترونات... الخ) «أشياء حقيقية» أم أنها «مخترعات عقلية» فقط بينما تمثل أمواج دي برولوي «الحقيقة الفيزيائية». ويناقش مارجينو ذلك:

> ترتب على استخدام الاحتمالات كأداة أساسية في وصف الطبيعة أن انقسمت تجاربنا إلى مجالين: يتكون الأول من أمور مباشرة (مشاهدات وقياسات) لا يمكن التنبؤ بها تفصيلياً، والآخر مجال عقلي ومهذب وهو محور القوانين والانتظامات والمواد الدائمة، ومبادىء البقاء وما إلى ذلك.

وقد اقترح مارجينو أن يسمى المجال الأول «بالحقيقة التاريخية» والثاني «الحقيقة الفيزيائية». وإذا طبقنا هذا التقسيم على ظواهر الفيزياء الذرية الفرعية وتفسيراتها فمن الواضح أن النقط الداكنة التي تنشأ على الستار نتيجة اصطدامات الالكترونات أو الفوتونات هي عناصر للحقيقة التاريخية؛ فهي لا يمكن تحديدها فرادى بواسطة ترتيبات التجربة. ومع ذلك، فإن النموذج نفسه، أو بتعبير رياضي، حل المعادلة الموجبة (دالة ψ لشرويدنجر) يحدد دون ابهام بواسطة ترتيبات التجربة؛ وفضلاً عن ذلك، فإن دالة ψ يمكن حسابها لكل الزمان إذا كانت معرفة من كل المكان عند لحظة واحدة من الزمان. ولهذا فإن مارجينو يعتبر أن دالة ψ جزء من حقيقة فيزيائية. وهو يجد ما يبرر ذلك في الرأي الفلسفي الذي يعرف الأشياء الحقيقية بأنها عناصر التجربة التي ترتبط في الزمان والمكان ارتباطاً سببياً. وإذا نظرنا إلى الأحداث المفردة، مثل الاصطدامات المفردة بالستار وظهور البقع المفردة، فسوف نلاحظ عدم وجود انتظامات. وإذا اعتبرنا نموذج الاصطدامات أو البقع فوق الستار ككل فسوف نجد أنه يخضع لقانون شديد البساطة والوضوح. فدالة ψ التي تحدد توزيع أو احتمالات هذه البقع تخضع لقانون من قوانين السببية، وقد كتب مارجينو يقول: «يوجد الانتظام في بادىء الأمر في تجمعات أو، عندما تعزى إلى أحداث فردية، فهو يوجد في الاحتمالات القائمة في هذا الأحداث. وتحكم القوانين هذه الاحتمالات ولا تحكم التواجدات البسيطة».

وطبقاً لمارجينو، بما أن «الحقيقة» لا بد أن تعزى إلى كميات خاضعة لأحد قوانين السببية، فقد أصاب في أن يستنتج:

> **لكي نكون منسجمين مع روح العلوم الفيزيائية يجب أن نقبل نتيجة لم يدركها كثير من المفكرين في الماضي، وهي أن الاحتمالات رهن بدرجة من درجات الحقيقة. . . . ومن ثم فإن الاحتمال، باعتباره حقيقة فيزيائية، ممتد خلال الفضاء كله، مثل الوسط المتصل الخالي من المادة. وهو في الواقع يشكل مجالاً.**

وبما أن احتمال وقوع الأحداث يقاس بمربع دالة ψ ، فإننا نستطيع أيضاً أن نقول إن الموجة التي تصفها دالة ψ هي حقيقة فيزيائية. وفي القسم الخاص بالسببية في الفيزياء الذرية(١٩) سوف نناقش دور الدالة ψ من الناحية العلمية

البحتة. وسوف نرى أن قانون السببية صالح للتطبيق عندما نصف حالة النظام بواسطة الدالة X . لم يرد ذكر للتفسيرات الفلسفية أو الميتافيزيائية حتى الآن. وكلما تمادينا في الحديث عن «الحقيقة» وخاصة «الحقيقة الفيزيائية»، كلما بعدت الشقة بين التفسير وبين نصوص العلوم الفيزيائية، ويصبح استخدام هذا التعبير أقرب إلى الصفة الميتافيزيائية. وقولنا إن دالة ψ تخضع لقانون سببي ليس إلا فيزياء. ولكن، كما اقترح مارجينو، إذا قلنا إن الدالة ψ تصف حقيقة فيزيائية لأنها تخضع لقانون سببي فإن هذا يكون تفسيراً ميتافيزيائياً. وإذا قلنا إن ما يخضع لقانون سببي يكون حقيقياً فإن ذلك يكون نصاً على تماثل مع خبرة الفطرة السليمة. والأجسام المعتادة في خبرتنا الفطرية السليمة (مثل الأحجار والكواكب وأجسام الحيوانات) تخضع لقانون سببي. ولذلك، فإننا بالتماثل نعتبر كل الأجسام أجساماً حقيقية إذا كانت هي الأخرى تخضع لقوانين سببية. وبهذا المعنى يعتبر مارجينو الاحتمال أو دالة ψ جزءاً من حقيقة فيزيائية.

ولا يكون هذا النص صحيحاً إلا إذا تذكرنا أننا نسمي هذه الأشياء أشياء «حقيقية» لأنها تخضع لقانون سببي، ولم ننس أن هذا الربط بين «الحقيقة» والسببية قائم فقط على تماثل مع خبرة الفطرة السليمة. ومن السهل أن نتبين ذلك إذا لاحظنا أن مؤلفين آخرين ينكرون «حقيقة» الاحتمالات ويقولون بأن الجسيمات (مثل الالكترونات والنيوترونات وغيرها) هي جزء من حقيقة فيزيائية. ومن هؤلاء المؤلفين ومن أشهرهم وليام هـ. وركستر[٢٠] الذي كتب كتابين دراسيين وكثيراً من المقالات في فلسفة العلوم. وقد بدأ بالنص على أن كل مفهوم بشأن «الحقيقة الفيزيائية» يجب أن يبدأ من «أشياء عادية» مثل الأحجار والكواكب، وهي أشياء «حقيقية» طبقاً لكلام الفطرة السليمة. ويقول وركميستر إن على المرء عندئذ أن يضيف الأشياء التي تتفاعل تفاعلاً مباشراً مع «الأشياء الطبيعية». وفي كلامنا المعتاد في الفيزياء نقول إن الالكترونات وغيرها من الجسيمات الذرية الفرعية تتفاعل مع القطع المعدنية التي ترى بالعين المجردة، وقد وصف هذا التفاعل (التشتت على سبيل المثال) بواسطة معادلات مستنبطة من الفيزياء الرياضية. ويرى وركميستر أنه لهذا السبب يجب أن نعتبر هذه الجسيمات الذرية الفرعية جزءاً من «الحقيقة الفيزيائية» مثل الأشياء المعتادة، لكن الاحتمالات ودالة ψ لا

تتفاعل مع الأشياء المعتادة، إذا اخترنا كلماتنا بحيث تكون أقرب ما يمكن إلى ما يستخدم بالفطرة السليمة. ويرى مارجينو أن «موجات الاحتمالات» لدى برولوي تنتمي إلى الحقيقة الفيزيائية ولا تنتمي الجسيمات إلى هذه الحقيقة، في حين يرى وركميستر أن الجسيمات المادية هي وحدها «الأشياء الحقيقية» في الفيزياء الذرية الفرعية. وطبقاً لمفهوم التفسير الفلسفي الوارد بهذا الكتاب ليس هناك تناقض بين نص مارجينو ونص وركميستر فيما يتعلق «بالحقيقة الفيزيائية». فكل من هذين النصين مبني على نفس النظرية العلمية، وهي نظرية الكم لدى برولوي وبوهر، لكن كلاً منهما يفسر نفس النظرية العلمية بتماثل مختلف من خبرة الفطرة السليمة. ويصبح النصان متناقضين إذا اعتقد المرء أن النصوص الميتافيزيائية هي نتيجة «للرؤية بعين العقل»، أو «إدراك الحقيقة النهائية الكامنة وراء الوقائع المنظورة». وفي حالتنا هذه، يعتقد مارجينو أن «الحقيقة النهائية» تتألف من «موجات الاحتمالات»، وهي غير مادية على وجه التأكيد، ولكنها أقرب إلى الكيانات العقلية أو الروحية، بينما ينطوي نص وركميستر على أن «الحقيقة النهاية» تتألف من جسيمات مادية، أو من رزم مهلهلة من المادة على حد تعبير بعض الفلاسفة.

وتصبح الفيزياء الذرية الفرعية في الحالة الأولى دعماً للآراء المثالية أو الروحية عن الكون، بينما لا تستطيع الفيزياء الذرية الفرعية بالقرن العشرين في الحالة الثانية أن تستخدم بهذه الطريقة لكي تسند «مذهب المثالية» ولكي تدحض «مذهب المادية»ـ وقد استهدفت مثل هذه التفسيرات الميتافيزيائية في كثير من الحالات أن تدعم بعض أنواع السلوك البشري المرغوبة، وبعض الأنماط المفضلة في الحياة.

ولا يكاد أن يكون هناك شك في أن مارجينو يعتبر أن النص بأن «موجات الاحتمالات» جزء من الحقيقة الفيزيائية ليس تفسيراً بالتماثل، لكنه «نص صحيح» بشأن الحقيقة. ويصبح ذلك واضحاً بوجه خاص إذا قارنا موقفي كل من مارجينو وبوهر تجاه موضوع الحقيقة. فليس هناك، طبقاً لمبدأ التتامية لبوهر، وصف فريد للأشياء الذرية المنعزلة. فالترتيبات العملية المختلفة، والتي تلغي كل منها الأخرى، تعطي أوصافاً مختلفة لنفس الأشياء الذرية. وبما أننا لا نستطيع أن

نصف الشيء الذري نفسه بعبارات اصطلاحية، فإن علينا أن نبدأ بالشيء في نطاق إطار معين من الترتيبات العملية التي يمكن أيضاً أن نسميها عملية مشاهدة معينة. وبمعرفة هذه الحالة المعينة يمكننا أن نطبق الصياغة الرياضية لميكانيكا الكم ـ أي المعادلة التفاضلية للدالة ψ لكي نتنبأ بالظواهر التي يمكن أن نتوقعها كنتيجة لتجربتنا. وطبقاً لبوهر، علينا أن نفهم كلمة «الظواهر» كما هي في لغة الفطرة السليمة. وفي ذلك يقول بوهر[٢١]: «مهما تجاوزت الظواهر حدود التفسير الفيزيائي الكلاسيكي، فإن بيان الأدلة جميعها يجب أن يقدم في عبارات كلاسيكية.

ويرفض بوهر أن توصف «الظاهرة» أو الدالة ψ بأنها «حقيقية» ويصف مارجينو اتجاه بوهر على النحو التالي:

> للفيزياء أن تختار بين أن تصف الطبيعة بدلالة الأشياء الكلاسيكية التي يمكن رؤيتها (مثل وضع الجسيمات وغيرها)، أو أن تصفها بدلالة الحالات المجردة، مثل دوال ψ. ويسمح الاختيار الأول بالرؤية (ظواهر) لكنه يتطلب التخلي عن السببية؛ ولا يسمح الاختيار الثاني بالرؤية ولكنه يستبقي السببية. ولا يمكن التوفيق أبداً بين هذين البديلين. . . ولا يترك بوهر للعلم أن يختار، ولكنه يطلب إليه أن يستسلم إلى ورطة أزلية. إنه يريد من رجل العلم أن يكبل نفسه أمام هذه الورطة، وهذا أمر غير سليم من الناحية الفلسفية.

وبوهر نفسه لا يرى في هذا الوضع ورطة. فهو يرى أن لكل شيء ذري وصفين يخدمان غرضين مختلفين ولا يناقض أحدهما الآخر.

ونقتبس عن مارجينو: «وقد اتخذ العلم اختياره، وكان هذا الاختيار هو البديل الثاني (الوصف بواسطة دالة ψ)»[٢٢]. وفي واقع الأمر أن العلم رأى أن استخدام دالة ψ هو أفضل طريقة لحساب نتيجة تجربة معينة. وإذا كان هذا هو ما تعنيه «الحقيقة» فقد أصاب مارجينو عندما أكد على «حقيقة» «موجة الاحتمالات».

وطبقاً لبوهر فإن عرض موضوع بواسطة دالة ψ وعرضه بواسطة «المرئيات» لا يمثلان نظريتين متنافستين سماهما مارجينو، بل هما وصفان تجمعهما نظرية

واحدة. ويرى مارجينو أن رأي بوهر يمثل «مذهب اللاأدريين» (الذين يعتقدون بأن وجود الله ونشأة الكون أمور لا سبيل إلى معرفتها)، وهو مذهب خطر لأنه يشجع الانهزامية ويثبط البحث في مجالات أخرى. ولكن بوهر يرى أن رأيه ليس لا أدرياً ولا يفتقد الحسم، بل إنه على وجه الخصوص نمط عميق من الحسم، وهو حسم في أن نربط في صورة واحدة للكون بين كل الظواهر التي تتبدى تحت كل الظروف الممكنة. وإذا تحدثنا على مستوى التفسير الفلسفي فهو حسم في أن تتكامل كل التماثلات الممكنة مع خبرة الفطرة السليمة في صورة واحدة للكون.

٤ ـ الفيزياء و«الإرادة الحرة»

كثيراً ما تردد أن ميكانيكا الأجسام الذرية الفرعية في القرن العشرين تقدم حلاً للنزاع الذي كان قائماً بين المذهب القائل بأن هناك «قرارات حرة» نبتت من إرادة الإنسان وبين مذهب الميكانيكا النيوتونية. وطبقاً لميكانيكا نيوتن يمكن حساب موضع كل جسيم مادي وسرعته إذا عرفت حالة حركته عند أي لحظة سابقة وعرفت القوة المؤثرة على كل الكتل، من معادلات من نوع $m \times a = f$، حيث m هي الكتلة، a هي العجلة، f هي القوة المؤثرة على الجسيم ذي الكتلة m. ويمكن حل هذه المعادلات إذا عرفت القوة f. وقد بنيت كل فيزيائنا عملياً على فرض أن هناك ثلاثة أنواع فقط من القوى: وهي قوى التجاذب، والقوى الكهرومغنطيسية وأحدث القوى وهي القوى النووية. وإذا تناولنا المعادلة $m \times a = f$ بمعناها الفيزيائي البحت (انظر الفصل ٤) لا نستطيع أن نحل أي «قدرة روحية» أو «قدرة الإرادة» محل f في المعادلة النيوتونية. وإذا أمكن حساب كل التحركات المنظورة دون اعتبار «لقدرة الإرادة» كمركبة للقوة f، فإن «الإرادة» لا يمكن أن تؤثر على حركة الكتل المادية. وبما أن أي فعل يأتيه الإنسان يؤدي إلى نوع من تحرك الكتل، فإن «قدرة الإرادة» لا يمكن أن تحدث أي فعل، وذلك إذا كانت ميكانيكا نيوتن صحيحة بمعناها الفيزيائي الدقيق. ومع ذلك، إذا افترضنا أن قدرة الإرادة يمكن أن تحل محل f في المعادلة النيوتونية فلن يوجد تضارب بين ميكانيكا نيوتن و«الإرادة الحرة».

وفي الفترة التي اعتبرت فيها ميكانيكا نيوتن أساساً للفيزياء لا يتطرق إليه الشك، بذلت محاولات عديدة لإيجاد ثغرات في تنبؤات الميكانيكا واستخدام هذه

الثغرات كمنفذ لإدخال الإرادة الحرة.

وعلى سبيل المثال أشار كثير من المؤلفين إلى أن الجسيم الذي يتحرك في اتجاه متعامد مع القوة المؤثرة عليه لا يؤدي شغلاً، ومن ثم فإنه لا يستهلك أي طاقة. ولذلك فإن «قدرة الإرادة» يمكنها أن تحدث هذه الحركة دون أن تناقض قانون بقاء الطاقة المستنبط من الميكانيكا النيوتونية. ومن الطرق الأكثر تعقيداً في ايجاد «ثغرة» كانت الإشارة إلى النقط «الفردية» في المعادلات التفاضلية في الميكانيكا. ففي هذه الحالة يكون مجال القوة لا نهائياً أو غير محدود، ولا يمكن حساب العجلة a من المعادلات على نحو غير مبهم. وهنا ـ حسبما يرى بعض الفلاسفة ـ يمكن لقوة الإرادة أن تتولى الأمر وتحدد حركة الكتل المادية.

وعلى أية حـال، إذا أمكن إحلال «قـوة الإرادة» محل القـوة f في معادلات نيوتن، فلن يكون من الضروري ايجاد «ثغرات» لتصبح «حرية الإرادة» متـوائمة مع الميكانيكا. وعلى العكس، إذا كانت «قوة الإرادة» لا تستـطيع أن تحـرك كتلة مادية، فلن تكون «للثغرات» فائدة. وعلى سبيل المثـال، إذا كان عـلى الكتل أن تتحرك في اتجاه متعامد مع القوة الميكانيكية، فإننا نحتاج إلى «قوة» تحركها في اتجاه معين. وبالرغم من أن أية حركة لا تحتاج إلى طاقـة، فإنها تحتـاج إلى «قوة» لكي تحدد الاتجاه. ويتطلب الأمر على سبيل المثال، زيادة الزخم لاختيار حركة معينة. وبنفس الطريقة، إذا كانت هناك نقطة مفردة فإن الحركة التي تتجاوزهـا لا يمكن تحديدها إلا باستخدام قانون إضافي للحركة. غير أننا بذلك إنما نعود بالمشكلة إلى ما كانت عليه. فإذا استطاعت «قوة الإرادة» أن تحرك جسيماً عنـد نقطة «مفـردة» للمعادلات التفاضلية فلن يكون هناك ما يدعو إلى القول بأن إحـلال هذه القـوة محل f في المعادلة النيوتونية أمر غير مشروع. ونجد في هذه الحالة أن حركة الجسيم عند نقطة «منتظمة» يعتمد أيضاً عـلى «قدرة الإرادة» بـالإضافـة إلى قوة الجـاذبية والقوة الكهرومغنطيسية. سوف تكون «الإرادة الحرة» أمراً مفهوماً بغير ادخال أية «ثغرات».

ومن ثم فإن تبرير «الإرادة الحرة» بواسطة الثغرات تبرير لا لزوم له؛ فإذا كان من الممكن أن تحل قوة الإرادة محل قوة فيزيائية فإن الثغرات تصبح غير

ضرورية. وإذا كان مثل هذا الإحلال غير مشروع تكون الثغرات غير ذات جدوى لأن المطلوب هو قانون إضافي يحدد حركة كتلة ابتداء من الثغرة. وهذا القانون الإضافي هو بالتأكيد قانون فيزيائي لأنه يحدد حركة الكتل المادية. وإذا استطاعت قدرة الإرادة أن تلعب دوراً في هذا القانون الإضافي فإنها سوف تلعبه أيضاً في القوانين النيوتونية الأصلية. ومن أجل هذه الأسباب جميعاً فإن إدخال «ثغرات» في القوانين الميكانيكية لا يحقق أية فائدة في موضوع «الارادة الحرة». وإذا أجزنا هذا الحوار، فسوف يتضح بسهولة أن إحلال ميكانيكا الكم لبوهر وهايزنبرج (ميكانيكا الجسيمات الذرية الفرعية) محل الميكانيكا النيوتونية سوف لا يحقق أية فائدة في موضوع «الإرادة الحرة» أو «التحكيم الحر».

ولكي نوضح ذلك، فقد يكون من الأفضل أن نشرحه بواسطة المثال من الفيزياء الذرية الفرعية الذي استخدمناه في معالجة «الوجهة العلمية»[٢٣] ونستطيع أن نختار شعاعاً من الالكترونات المارة خلال ثقب في حاجز لكي تصطدم بستار. طبقاً لميكانيكا نيوتن فإن النقطة التي يصطدم الالكترون عندها بالستار يمكن التنبؤ بها إذا عرفت حالة الجسيم عند لحظة مروره من ثقب الحاجز. ومقومات هذه الحالة في ميكانيكا نيوتن هي موضع الجسيم وزخمه عند لحظة مروره خلال الحاجز.

وليس لهذه الحالة وجود في الميكانيكا الذرية الفرعية (ميكانيكا أجزاء الذرة) فنحن لا نعلم سوى مواضع الثقب في الحاجز والطريقة التي أطلقت بها الالكترونات. وتمكننا نظرية الميكانيكا الذرية الفرعية أن نحسب من هذه الظروف التوزيع الإحصائي للتصادمات مع سطح الستار، فيمكننا أن نعرف متوسط عدد التصادمات التي ستحدث في كل ثانية على البوصة المربعة من سطح الستار. ويمكن تحديد التوزيع تحديداً فريداً بواسطة قوانين ميكانيكا الأمواج إضافة إلى التعريفات التشغيلية. وتحل هذه القوانين محل القوانين النيوتونية. وإذا لم تكن هناك قوة نيوتونية (تجاذبية أو كهرومغنطيسية) تؤثر على الالكترونات المارة خلال الحاجز فإنه طبقاً لميكانيكا نيوتن سوف تتبع هذه الالكرتونات قانون القصور الذاتي، وطبقاً لميكانيكا الأمواج سوف تحدث فوق الستار نموذجاً للبقع حول نقطة مركزية تنتج طبقاً لقانون القصور الذاتي.

وإذا استخدمنا قوة للتوزيع، مثل القوة الكهرومغنطيسية، فإن البقعة المفردة الناتجة طبقاً لقانون القصور الذاتي سوف تزاح إلى بقعة مفردة أخرى. وإذا افترضنا أن ميكانيكا الأمواج صالحة للتطبيق هنا، فإن نموذج البقع الذي سيظهر على سطح الستار في حالة عدم وجود قوى مؤثرة سوف يختلف عنه في حالة وجود قوة مؤثرة الكتروستاتيكية أو مغنطيسية أو غيرها من القوى الفيزيائية. وبعبارة أخرى، فإن التوزيع الإحصائي للتصادمات على سطح الستار سوف يكون مختلفاً باختلاف القوة الفيزيائية المؤثرة. وبما أن القوى الفيزيائية تحدد فقط التوزيع الإحصائي للبقع ولكنها لا تحدد موضع البقعة عند لحظة معينة، فسوف تكون لدينا حالة «الثغرة» مرة أخرى ـ وبما أن ظهور بقعة عند لحظة معينة لا يمكن تحديده، فإن «قدرة الإرادة» يمكن أن تتدخل وتحدد ظهور بقعة عند لحظة محددة وموضع محدد على سطح الستار دون أن تتناقض مع قوانين الفيزياء.

وعلى أية حال، فلا محل لهذا الجدل في هذه الحالة كما هو الحال في الأنماط الأخرى من الثغرات. ومن «الوجهة العلمية» للفيزياء الذرية الفرعية، يتحدد التوزيع الإحصائي عند نهاية التجربة تحديداً كاملاً بواسطة الترتيبات العملية والقوى المستخدمة. ومعنى هذا أنه ليست هناك قوة فزيائية تستطيع أن تقيد التوزيع الإحصائي على نحو يمكننا من التنبؤ باللحظة التي يحدث فيها الإصطدام عند نقطة معينة على سطح الستار. وعلى هذا فإنه لا يمكن لقوة فيزيائية (تجاذبية أو كهرومغنطيسية) أن تحول القانون الإحصائي إلى قانون سببي حيث يمكن تحديد الأحداث الفردية تحديداً فريداً. ولهذا فإن علينا أن نفترض مرة أخرى أن «قدرة إرادة»، (قوة روحية) يمكنها أن تدبر فرصة الاختيار بين الامكانيات التي يتيحها القانون الإحصائي. لكننا إذا افترضنا أن «قوة روحية» يمكنها أن تحرك الكتل المادية فإنه يمكننا أن نفترض أيضاً أنه يمكن التعويض بقوة روحية عن f في القانون النيوتوني $m \times a = f$. وإذا جاز ذلك فلن نحتاج إلى ثغرات في معادلة الحركة، وتبعاً لذلك لن نحتاج إلى قوانين احصائية للحركة.

ويبدو من كل هذه الاعتبارات أنه بتغيير نظريات الفيزياء لا نستطيع أن نسهم في فهم ما يسمى بمشكلة «الإرادة الحرة» أو «التحكيم الحر»؛ وبعبارة

أخرى، لا تستطيع مشكلة الحتمية (القضاء والقدر) الفيزيائية أن تقدم سوى القليل جداً إلى مشكلة الإرادة الحرة. وهناك موضع واحد في الفيزياء يمكن أن تستخدم فيه كلمة «حر» أو «حرية» استخداماً مفيداً. ويدرك كل من له إلمام بالميكانيكا، ولو إلماماً مبدئياً، الفرق بين «الذبذبات الحرة» و«الذبذبات القسرية». وإذا اعتبرنا على سبيل المثال بندولاً يتذبذب تحت تأثير قوة الجاذبية، فإن تردد ذبذبة هذا البندول يعتمد فقط على طول البندول (L) وعلى عجلة الجاذبية (g). وبحساب هذا التردد (n) من قوانين نيوتن نجد أن $n=\sqrt{g/L}$.

وتسمى n بالتردد المميز للبندول أو بتردد التذبذب الحر لأنها لا تعتمد على ذبذبة يمكن أن يفرضها المرء من الخارج على البندول. ويمكن للمرء، مع ذلك، أن يسلم البندول إلى دفعات دورية تتكرر بتردد N لا يعتمد على التردد الداخلي للبندول وإنما يعتمد بالطبع على التأثيرات الخارجية فقط. إذا ترك البندول وشأنه فإنه سوف يتذبذب «تذبذباً حراً» بتردد n؛ وإذا تلقى دفعات دورية ترددها N فسوف يتذبذب «تذبذباً قسرياً» يعتمد على التأثير المتزامن لكل من n، N. وتكون الذبذبة الواقعية تراكباً لذبذبتين ترددهما n، N. وتتزايد شدة الذبذبة كلما اقتربت قيمة N من قيمة n، وسوف تحدث ظاهرة الرنين (حيث تكون سعة الذبذبة كبيرة) إذا كانت n، N متقاربتين جداً.

ويمكننا في الحالة الأولى أن نقول إن البندول يعتمد في سلوكه على نفسه؛ فالحركة «حرة». أما في الحالة الثانية فإن الحركة تحددها مؤثرات خارجية. وقد حللت تصرفات الكائنات البشرية على نفس النحو. فالنمط السلوكي يعتمد جزئياً على «عوامل داخلية»، وسوف يستمر بقاء هذا النمط ما لم يتأثر الكائن البشري بالبيئة. ومن أمثلة «الفعل الحر» للكائن البشري تفكيره المنبثق جميعه من عقل الشخص نفسه، والذي لم يتأثر بقراءة الكتب أو الاستماع إلى الآخرين. ونحن ندرك أن هذا التوصيف «للحرية» ليس له مغزى إلا على المستوى الفطري السليم للوصف، ولكنه يصبح شديد الغموض إذا حاولنا أن نفهم التعبيرات فهماً علمياً. «فالفعل الحر» عند الكائن الحي هو حركة رجليه ويديه التي لا تسببها سوى المنبهات الداخلية.

وتوخياً للدقة، نقول إنه من الواضح أن مثل هذه الحركة لا وجود لها. ومن ناحية أخرى، يصح لنا أن نقول ـ متحدثين باللغة المعتادة ـ أن بعض الأفعال مردها إلى المؤثرات الخارجية، والبعض مرده غالباً إلى المنبهات الداخلية. ومن السهل التعرف على الحالات الخارجية. فإذا دفع رجل قوي رجلاً ضعيفاً فإن هذا الأخير سوف يتحرك؛ ومن المؤكد أن مثل هذا الفعل ليس فعلاً «حراً». وإذا لم يشعر رجل ساكن بدفعة خارجية يمكنها أن تحركه، ولكنه نهض واقفاً لأنه يريد أن يفعل ذلك، فإننا نستطيع أن نصف هذه الظاهرة بأن نقول إنه «نهض نهوضاً حراً». لكن كل إنسان يحس بأن هذا التمييز غامض جداً. وفي واقـع الأمر أن التمييز بين «التذبذب الحر» و«التذبذب القسري» في الميكانيكا لا يكون تمييزاً حاداً إلا إذا تحدثنا على نحو مفرط في التبسيط. فالنص بأن تذبذبات البندول المتروك لتأثير قوة الجاذبية لا يعتمد ترددها على أي مؤثر خارجي ويكون تذبذبها «حراً»، لا يكون نصاً صحيحاً إلا إذا أهملنا موضوع انتاج البندول من مادة خام، وتضافر كثير من الناس تضافراً اقتصادياً لتزويدنا بالمادة الخام. فلا يمكننا استخدام كلمة «حرية» في الفيزياء واستعارتها من الفيزياء إلى موضوع الأفعال البشرية، إلا على هذا النحو الغامض.

وإذا شئنا أن نحكم على ما يمكن أن تفعله الفيزياء بالنسبة لموضوع «الإرادة الحرة» فعلينا أن ندرس أفكار الناس المهتمين فعلاً بوجود «الإرادة الحرة» والذين يعتبرون وجودها أمراً بالغ الأهمية بالنسبة لفهم العالم، وللسلوك المنشود للبشر. وسوف نرى أن هؤلاء الناس يعترفون بسرور بوجود حتمية دقيقة في مجال الظواهر الفيزيائية. ويرى هؤلاء أن هناك أحداثاً غير فيزيائية ولكنها روحية تتبع قوانين لا تختلف اختلافاً كلياً عن القوانين الفيزيائية.

وجدنا عند مناقشة الاختلاف بين الميكانيكا النيوتونية وميكانيكا أجزاء الذرة في القرن العشرين أن الاختلاف لا يتصل إطلاقاً بموضوع الإرادة الحرة. ومع ذلك فإن عالم الفلك والفيزيائي الرياضي البريطاني الشهير سير أرثر إدنجتون قد استخدم الفيزياء الذرية الفرعية ليدعم الاعتقاد الشائع «بالإرادة الحرة» التي كانت تبـدو لكثير من النـاس كفرض مسبق ضـروري للإيمـان بالـدين التقليدي

والاخلاقيات. يبدأ «إدنجتون[٢٤] من النص بأن «المستقبل هو تجمع من المؤثرات السببية للماضي وعناصر لا يمكن التنبؤ بها» وذلك بسبب الخاصية الإحصائية الأساسية لقوانين الفيزياء الذرية الفرعية. «وبذلك يسحب العلم معارضته للإرادة الحرة». وهذا بالطبع لا يسري إلا إذا استطاعت الإرادة أن تملأ الثغرات التي تخلفها القوانين الإحصائية. وفي ختام كتابه (صفحة ٣٥٠) أورد إدنجتون النص التاريخي:

ربما سيقال إن الخلاصة المستقاة من هذا الجدل من العلوم الحديثة هي أنه في عام ١٩٢٧ أصبح الدين أمراً ممكناً بالنسبة لأحد رجال العلم المعتدلين.

ففي عام ١٩٢٧ وضع هايزنبرج مبدأه عن اللاحتمية. وفي كتاب أصدره إدنجتون بعد ذلك[٢٥] أورد تحليلاً أكثر شمولاً لحواره السابق في وصف الإرادة الحرة. وينص إدنجتون في صراحة على أنه من «الهراء» أن نفترض أن الإرادة يمكن أن تعمل بواسطة التراكب مع القوانين الإحصائية أو كما سبق أن قلنا، بواسطة التسرب من خلال الثغرات التي تخلقها هذه القوانين. ويعود إدنجتون مرة أخرى إلى مساندة الإرادة الحرة بوضع فرض «القوة الروحية»، ولكنه ينكر أن المرء يستطيع أن يدعم الاعتقاد بالإرادة الحرة من خلال مبدأ اللاحتمية لهايزنبرج. ومع ذلك، فإن كثيراً من المؤلفين يتمسكون بالحوار الذي ساقه إدنجتون في كتابه السابق في غير كثير من العناية، ولم يلقوا بالاً إلى الرأي الأكثر عمقاً الذي قدمه في كتابه الأخير.

والفلاسفة واللاهوتيون الذين يدافعون عن هذا الاعتقاد لا يعنيهم الدفاع عن اللاحتمية في الفيزياء وإنما يعنيهم الادعاء بأن هناك أحداثاً وظواهر تخضع لقوانين مختلفة عن القوانين الفيزيائية. إن ما يدافع عنه الميتافيزيائيون واللاهوتيون هو أن هناك حتمية في مجال الفيزياء وهناك «حرية» في مجال الروح. ومن المفيد أن نعرف ما كتبه في هذا الصدد أشهر الفلاسفة واللاهوتيين الكاثوليك في هذا البلد، الأسقف فولتون ج. شين[٢٦].

يؤكد سان توماس أن تغير المفهوم للعلم التجريبي لا ينطوي على تغير في الميتافيزياء التي تحكم هذا العلم. فالفلسفة مستقلة عن العلم... [صفحة

١٤٨]. فليس هناك شيء على الإطلاق في نظرية الكم وفي مبدأ اللاحتمية يوضح أن هناك أي حدث فيزيائي غير مسبب. ومن ثم لا يوجد في الفيزياء أساس لحرية الإرادة.... وموضوع حرية الإرادة ليس موضوعاً فيزيائياً ولكنه موضوع فلسفي.

ويمكن أن نضيف إلى ذلك أسطراً مقتبسة عن فيلسوف هندوسي معاصر، وأحد المؤمنين المتحمسين بالميتافيزياء وبالرؤية بعين العقل، ومؤمن شديد الإيمان «بالإرادة الحرة». كتب ناليم كانتابراهما عن محاولات إدنجتون وغيره من العلماء لإثبات «حرية الإرادة» بواسطة التقدمات في العلوم الفيزيائية(٢٧):

إذا كشفت لنا تجارب المستقبل عن أن اللاحتمية المفترض وجودها في تحركات الالكترونات غير موجودة حقاً، فسوف تجد الفلسفة نفسها عاجزة عن إثبات وضعها إذا تقبلت الآن منطق الأستاذ إدنجتون... فالحرية وغيرها من الحقائق الميتافيزيائية لا يمكن إثباتها في محيط الظواهر، حيث يكون الزمان والمكان والسببية هي وحدها الفئات الحاكمة.

ولكي ندرك كيف تصاغ فكرة حرية الإرادة يجري إثباتها بواسطة تلك الجماعات التي تدافع عنها لأسباب أخلاقية، فسوف نلقي نظرة على مجلة دورية فرنسية في الفلسفة، نشرت عام ١٩٥٣. تحتوي المجلة على مقال عن «التحكيم الحر» يقدم الصياغات المعتادة لهؤلاء المدافعين عن هذه الفكرة. كتب المؤلف يقول(٢٨):

في رأينا أن هناك دليلين كلاسيكيين يوضحان بطريقة مقنعة وجود التحكيم الحر؛ الأول دليل أخلاقي يحملنا على الإيمان بالحرية، والثاني سيكولوجي يوثق هذا الإيمان. يواجهنا ضميرنا الأخلاقي بواجبات نجدها حقيقية عندما نتنبه إليها. ولن يكون هناك مغزى للواجب الحقيقي إلا إذا كان من الممكن أن يطيعه المرء أو يعصيه بإرادته. ومعنى هذا أن الواجب يقتضي مسبقاً وجود الحرية، أو، بعبارة أخرى، إذا كان علي أن أؤمن بأن من واجبي أن أفعل شيئاً ما فإن ذلك ينطوي على إيماني بأنني حر.

وقصارى هذا القول انه لا يمكن أن يكون هناك ايمان بالواجب ما لم يكن هناك إيمان بالتحكيم الحر، وهو كلام مقنع بكل تأكيد إذا استخدمنا كلمتي

«واجب» و«إرادة حرة» كما تستخدمان في حديث الفطرة السليمة الذي درجنا عليه منذ الطفولة. وإذا حاولنا أن نحلل ذلك تحليلاً علمياً أكثر تعمقاً فسوف يصبح الأمر أشد تعقيداً، وسوف يصبح في نهاية الأمر شديد الشبه بالجدل السيكلوجي الذي نعود إليه الآن. يقول المؤلف:

وليس هناك ما يدعو إلى عرض الجدل السيكولوجي عرضاً ممحصاً لأنه ينطوي على الاستشهاد بالرؤية الباطنة، ويكفي أن ندعو إلى التنبه إلى هذه الرؤية... ألا يدري كل إنسان من خبرته ما هو المقصود بتحمل المسؤولية الأخلاقية لما يقدم عليه من فعل؟ إن تحمل مثل هذه المسؤولية مثيل للإدراك بأن المرء حر.

وأياً كان رأي المرء في قوة إقناع هذه الحجج، فيبدو أن السؤال الأساسي هو، كما يقول المؤلف: كيف يصدر عن الإرادة قرار حر بين الواجب والمتعة؟ والإجابة على هذا السؤال لا تصبح أكثر يسراً إذا استبدلنا ميكانيكا فروع الذرة بالميكانيكا النيوتونية. إنه سؤال سيكولوجي بحت، والإجابة عنه تتوقف كلية على النظرية السيكولوجية التي نؤمن بها. وقد أجاب سبينوزا في مؤلفه «Ethics» عام ١٦٧٣ عن هذا السؤال، على نحو مقبول من وجهة نظر النظريات السيكولوجية القديمة. كتب سبينوزا يقول[٢٩]: «ليس في العقل إرادة مطلقة أو حرة، ولكن العقل يحدد اختياره لهذا الأمر أو ذاك بواسطة سبب، وهذا السبب يحدده سبب آخر، وهذا بدوره يحدده سبب ثالث، وهكذا إلى ما لا نهاية». ومن ثم يكون سبينوزا قد أعطى هذا الدليل:

الإرادة هي نمط فكري مؤكد وغير محدود، ومن ثم فإنها لا يمكن أن تكون السبب الحر لأفعالها، أو أن يكون لها قدرة مطلقة على أن تشاء أو لا تشاء، ولكنها تحدد هذا الاختيار أو ذاك بواسطة سبب يحدده هو الآخر سبب آخر، وهذا يحدده سبب آخر وهكذا إلى ما لا نهاية.

ويرى سبينوزا أن الحالات الذهنية جزء من سلسلة سببية للحالات الفيزيائية وأن السؤال الذي يمكن طرحه ليس ما إذا كانت هناك «ثغرات» في هذه السلسلة، وإنما هو كيف يحدث أن تنبئنا رؤيتنا الباطنة عن أن بمقدورنا أن نتخذ قرارات «حرة». وقد أعطى سبينوزا إجابة طيبة عن هذا السؤال أيضاً في ملحق الجزء الأول من مؤلفه «Ethics».

ويكفي هنا أن أتناول بديهية لا يمكن لإنسان أن يدحضها، وهي أن الإنسان يولد جاهلاً بأسباب الأشياء، وأن لديه رغبة، يعيها، في الحصول على ما ينفعه. ويترتب على ذلك، أولاً، أنه يظن أنه حر لأنه يدرك رغباته وشهواته، بينما يجهل في نفس الوقت الأسباب التي من أجلها يرغب ويشتهي، غير حالم بهذه الأسباب. وفي المقام الثاني، يترتب على ذلك أن الإنسان يفعل كل شيء لغاية، وهي ما ينفعه، وما ينشده. ومن ثم فهو يحاول أن يكتشف مجرد الأسباب النهائية لما قد حدث، وعندما يسمع هذه الأسباب يقتنع، إذ لم يعد هناك سبب لمزيد من اللايقين.

إذا سقط حجر من سقف فإننا لم نعد نقول إنه سقط عن عمد لكي يصدم هدفاً وربما يحطمه؛ إننا «نشرح» سقوط الحجر بواسطة قوانين الجاذبية لجاليليو ونيوتن، ويبين سبينوزا أن سلوك الانسان يتحدد بأسباب، تماماً مثلما يتحدد سقوط الحجر؛ ولأن الكائن البشري نظام شديد التعقيد فإننا لا نعرف أسباب تحركاته، ونستبدلها «بالأسباب النهائية» أو «الأهداف». مثل هذا الهدف هو ما نسميه «إرادة» في لغتنا المعتادة. ويرى سبينوزا أن «الإرادة» ظاهرة عقلية مثل التخيل أو الفكرة التي تصاحب أفعالنا، ولكنها ليست أبداً السبب في أفعالنا. إننا نمارس ظواهر عقلية نصفها بلغة فطرتنا السليمة، لغة ما قبل العلم، بأنها «اختيار حر» أو «تحكيم حر». ولو استطاع حجر ساقط أن يفكر وينطق لقال أيضاً إن له «اختياراً حراً».

والمشكلة العلمية الواقعية هي أن نفحص كيف يظهر هذا الشعور بالاختيار الحر وما هي فائدة هذا الشعور بالنسبة للإنسان. وكما عرفنا تصف سيكولوجية الفطرة السليمة هذا الوضع بأنه صراع بين «الواجب» و«المتعة». ومن المؤكد أن هذين اللفظين مفهومان وأن لهما مغزى على مستوى الخبرة المعتادة. فكل طفل يفهم أن الذهاب إلى المدرسة واجب وأن الذهاب إلى دار السينما متعة. غير أنه قد تنشأ أوضاع يكون الذهاب فيها إلى المدرسة متعة ويكون الذهاب فيها إلى دار السينما واجباً عندما نقوم بعرض فيلم يكون أداؤه مملاً ويهدف إلى «دراسات اجتماعية». وقد أحلت السيكولوجية العلمية نظاماً معقداً للمفاهيم محل مفاهيم الفطرة السليمة، مثلما أحلت العلوم الفيزيائية النموذج المفاهيمي لنظرية النسبية

لأينشتاين محل مفاهيم الفطرة السليمة بشأن «السكون» و«الحركة».

وكمثال لهذه السيكولوجية العلمية يمكننا أن نعتبر «سيكولوجية العمق» المعاصرة، القائمة على نظريات سيجموند فرويد المعروفة باسم «التحليل السيكولوجي» (التحليل النفسي). درس فرويد «تشريح» بنية الشخصية البشرية. فبالاضافة إلى «الأنا» (الذات ego) التي تهتم بالمتعة وتحاول أن تحققها بطريقة معقولة، يوجد مختفياً أيضاً في منطقة ما دون الوعي من شخصية الإنسان جانب «الأنا العليا» (super ego) وجانب «الهذا» (id) (الجانب اللاشعوري من النفس الذي يعتبر مصدر الطاقة البهيمية). وتتألف الأخيرة من بقايا السمات الأولية الحيوانية في شخصية الإنسان بينما تتألف «الأنا العليا» من سمات الشخصية المكتسبة بتأثير الوالدين والمدارس والكنائس وما يلقن للإنسان في الحرب والمدينة. ويناظر جزء مما يسميه فرويد «بالأنا العليا» ما يسمى في أحاديثنا المعتادة «بالضمير».

فالصراع بين «المتعة» و«الواجب» الذي يقرره «التحكيم الحر» طبقاً لصياغة ما قبل العلم، قد وصفه فرويد[٣٠] وصفاً علمياً على النحو التالي:

يقول المثل إن المرء لا يستطيع أن يخدم سيدين في وقت واحد. فلا يزال أمام «الأنا» البائسة وقت عصيب ينتظرها؛ إن عليها أن تخدم ثلاثة أسياد غلاظ، وعليها أن تبذل قصارى جهدها للتوفيق بين مطالب ثلاثتهم جميعاً. وتبدو هذه المطالب دائماً متنافرة وغير متوائمة في معظم الأحيان. فلا عجب أن تنهار «الأنا» في غالب الأحيان تحت وطأة أعبائها. والمستبدون الثلاثة هم العالم الخارجي و«الأنا العليا» و«الهذا». وعندما يراقب المرء جهود «الأنا» لإرضائهم جميعاً، بل لطاعتهم جميعاً في وقت واحد، فإن المرء لا يأسف على تجسيد «الأنا» وترسيخها ككائن مستقل. إنها تشعر بنفسها محاصرة من الجوانب الثلاثة، مهددة بثلاثة أنواع من الأخطار تتفاعل تجاهها بقلق متطور عندما يتزايد عليها ضغوطها... وعلى هذا النحو... ما بين نخس من قبل «الهذا» وحصار من قبل «الأنا العليا» وصد من قبل الحقيقة، تكافح «الأنا» لكي تنجح في تطامن المؤثرات العديدة التي تؤثر عليها من داخلها وخارجها، واختصارها الى نوع ما من التوافق والانسجام.

ونحن لم نشهد «أنا» واحدة تصنع «القرارات» أو «الاختبارات»، ولكن

«الأنا» جزء واحد ضمن بنية الشخصية تكافح الأجزاء الأخرى وتكافح العالم الخارجي، ويمكننا أن نسأل: تحت أي ظروف يكون لدينا شعور «بالاختيار الحر»، وما هي وظيفة هذا الشعور في حياة الانسان، وما هي قيمته في صياغة قوانين السلوك البشري. فموضوع «الاختيار الحر» ينتمي إلى هذا السياق في الكلام ولا يمت بشيء إلى الحقيقة أو اللاحتمية الفيزيائية.

وإذا شئنا التوصل إلى حكم متوازن حول ما إذا كانت لا حتمية الفيزياء الذرية الفرعية قد أسهمت في تدعيم فكرة «الإرادة الحرة» كما يدفع بذلك الدين التقليدي، فيجب علينا أن نتصفح ما كتبه المعروفون من القادة الدينيين. ويمكننا على سبيل المثال أن نقتبس عن توماس ميرتون الذي كان واحداً من أكثر الكتاب الكاثوليكيين في زماننا هذا. كتب ميرتون يقول[٣١]:

> **لا تتألف الحرية من توازن متساو بين اختيارات الخير والشر، ولكنها تتألف من حب ما هو خير حقاً وقبوله، وكراهية ما هو شر ونبذه، بحيث يتسم كل ما تفعله بالخير فيجعلك سعيداً، وترفض وتنكر وتتجاهل كل ما يمكن أن يقودك إلى التعاسة وخداع الذات، والغم... فالإنسان الذي ينبذ كل الشرور نبذاً كلياً بحيث لا يمكن أن تثير رغبته، هو وحده الإنسان الحر حقاً... والله، الذي لا يتطرق إليه إطلاقاً ظل من إمكانية الشر أو الخطيئة، هو حر حرية لا نهائية. وفي الواقع أنه هو الحرية.**

عندما نقرأ مثل هذه النصوص نفهم بوضوح أن تعبير «حر» يستخدم بمعنى لا يمت بصلة إلى الفرق بين الميكانيكا النيوتونية والفيزياء الذرية الفرعية في القرن العشرين.

وليس هناك تسلسل في التفكير يصل ما بين الصفة الإحصائية للقوانين الفيزيائية وبين النص بأن الحرية تتكون من «محبة ما هو خير حقاً... وكراهية ما هو شر».

٥ ـ حواشي الفصل [١٠]

١ ـ في مسرحيته «Too True to be Good».

٢ ـ انظر الفصل ٤، قسم ٢، ٣.

٣ ـ برنارد بافنك، «العلوم الطبيعية في الرايخ الثالث»، Unsere Welt، المجلد ٢٣، (١٩٣٣)، ٢٢٥.

٤ ـ جان كريستيان سمطس (١٨٧٠ ـ ١٩٥٠) رجل دولة بجنوب أفريقيا ذو اهتمامات كبيرة بالفلسفة والنشوء والتطور (نيويورك: شركة مكميليان، ١٩٢٦).

٥ ـ قدم سمطس هذا الرأي في خطابه الافتتاحي في الاحتفال المئوي للاتحاد البريطاني لتقدم العلوم عام ١٩٣١. طبع في مجلة Nature (١٩٣١)، صفحة ٥٢١ وما يليها.

٦ ـ سير جيمس جينز، «The mysterious Universe»، (نيويورك: شركة مكميليان، ١٩٣٠). الطبعة الجديدة المنقحة عام ١٩٤٨ صفحة ١٨٦.

٧ ـ الويز دنزل (١٨٨٧ ـ) فيلسوف المـاني، «Metaphysics of Contemporary Physics»، (ليبزج: فيليكس مايز، ١٩٣٥).

٨ ـ برنارد بافنك، «Science and God»، ترجمة هـ. ستافورد (نيويورك: the century Co.، ١٩٣٣).

٩ ـ انظر الفصلين ٨، ٩.

١٠ ـ لندن (١٩٣٣) الفصل ٦ ـ ٢ والفصل ٦ ـ ٤.

١١ ـ قدمه ورنر هايزنبرج عام ١٩٢٧.

١٢ ـ انظر الفصل ٧، قسم ٢.

١٣ ـ انظر الحاشية ٦، سير جيمس جينز، «Physics and Philosophy» (كمبريدج: مطبوعات جامعة كمبريدج، ١٩٤٣) الفصل ٧ صفحة ٢١٦.

١٤ ـ أوين د. كانهام، «The Twilight of Materialism»، «Christian Science Monitor» (١١ فبراير ١٩٥٠).

١٥ ـ انظر الفصلين ٨، ٩.

١٦ ـ انظر الفصل ٩، قسم ٣.

١٧ ـ الفريد لاند، «Quantum Mechanics» (نيويورك: شركة مكميليان، ١٩٥١).

١٨ ـ هنري مارجينو «The Nature of Physical Realty: A Philosophy of Modern physics» (نيويورك:

شركة كتب ماكجروهيل، ١٩٥٠).

١٩ ـ انظر الفصل ١٥، قسم ١.

٢٠ ـ وليام هنري وركمايستر، «The Basis and structure of Knowledge»، (نيويورك: هاربر واخوته، ١٩٤٨).

٢١ ـ نيلز بوهر، انظر الفصل ٩، الحاشية ٣.

٢٢ ـ مارجينو، نفس المرجع.

٢٣ ـ انظر الفصل ٨، قسم ٤، ٥.

٢٤ ـ سير أرثر ادنجنون، «The Nature of the Physical World»، (نيويورك: شركة مكميليان، ١٩٢٨) صفحة ٣٥٠.

٢٥ ـ سير أرثر ادنجتون، «The Philosophy of Physical science» (كمبريدج: مطبوعات جامعة كمبريدج، ١٩٤٩).

٢٦ ـ الأسقف نولكون ج. شين، «Philosophy of Religion, the Impact of Modern Knowledge on Religion» (نيويورك: مؤسسة ابيلتون ـ سنشري ـ كروفتز، ١٩٤٨) صفحة ١٤٨.

٢٧ ـ ناليلي كانتا براهما، «Causality and Science» (لندن: جورج آلان وانوين، ١٩٣٩).

٢٨ ـ أوجست فالينسين، «Du libre Arbitre», Etudes Philosophiques» (باريس: مطبعات الجامعة ١٩٥٣)، صفحة ١٦ وما يليها.

٢٩ ـ بنيديكت سبينوزا (١٦٣٢ ـ ١٦٧٧) فيلسوف هولندي يهودي ـ أتم مؤلفه «Ethics» عام ١٦٦٦، ولكنه نشر بعد ذلك. الجزء ٢، الفرض ٤٨. ترجمة ر. هـ. م. ايلويز، (لندن ج. بل وأولاده، ١٨٨٣ ـ ١٨٨٤).

٣٠ ـ أعيد طبعها عن «New Introductory lecture on Pschoanalysis» لسيجموند فرويد، ترجمة و. ج. هـ. سبردت بإذن من و. و. نورتون وشركته حق النشر عام ١٩٣٣ لسيجموند فرويد.

٣١ ـ توماس ميرتون، «Seeds of Contemplation»، طباعة شركة بل.

[١١]
قوانين السببية

١ ـ معنى «القضاء والقدر»

> يتخيل كل الفلاسفة، من كل المدارس، أن التسبب هو إحدى البديهيات الأساسية في العلم، ومع ذلك، فمن الغريب أننا في العلم الحديث، مثل الفلك التثاقلي، لا نرى لكلمة «سبب» وجوداً على الإطلاق... واعتقد أن قانون السببية، مثله مثل كثير مما يفوت على الفلاسفة، هو أثر من مخلفات عصر مضى، وقد ظل باقياً مثل النظام الملكي، لا لشيء سوى الافتراض خطأ بأنه لا ضرر منه.

هذا ما كتبه براتراند راسل(١). ونحن في لغة حياتنا اليومية نفهم جيداً ما يعنيه قولنا إن الحدث A هو «السبب في الحدث B، أو أن B هو نتيجة A. وعندما يلكم ملاكم غريمه في أنفه «فاللكمة هي السبب في كسر الأنف»، و«الكسر هو من نتيجة اللكمة». وكل انسان يفهم أن «الانخفاض في درجة الحرارة هو السبب في تقلص الزئبق في الترمومتر».

وعندما نحاول صياغة هذا النص بلغة الفيزياء النظرية فسوف يظهر أن التمييز الواضح بين «السبب» و«النتيجة» يصبح مطموساً بعض الشيء. وعندما

يقع حادث سيارة قد نقول إن «الظلام هو السبب في الحادث» أو «إهمال السائق» أو «إهمال السائر المعني» أو «زلاجة الطريق» أو «الشائعات بالتهديد بالحرب» أو «سخط الإلهة». ولا يكون المرء على يقين من أي من هذه النصوص هو الصحيح. ومن حلول الفطرة السليمة أن يقال إن كلاً من هذه التصريحات يعطي «سبباً جزئياً». غير أنه إذا تزايد عدد «الأسباب الجزئية» أكثر فأكثر فسوف يشتمل الأمر في النهاية على كل الظواهر في الكون، ومن ثم لا نملك غير أن نقول إن شيئاً ما في الكون هو السبب. وسيكون ذلك حشواً (تكرار للمعاني دون إضافة جديد) لا تحمل أية معلومات. وعلى ذلك، فإننا إذا حاولنا صياغة الحالة صياغة علمية فسوف نلحظ أن وضع صياغة مرضية لمبدأ السببية أمر شديد الصعوبة والتعقيد.

ومن ناحية أخرى، إذا عرضت قضية على المحكمة ـ حادث سيارة مثلاً ـ فإن على القاضي أو المحلفين أن يحددوا التعويض الذي سيدفع للمجنى عليه. وتبذل في مثل هذه الحالات محاولة لتحديد «المسؤولية» في الحادث ـ وبذلك يقحم تعبير «للحكم الأخلاقي» في الموضوع. ويعتقد بعض المؤلفين، مثل هانزكيلسين[٢] أن مفهوم «السبب نفسه ترجع أصوله إلى اللغة القانونية أو الأخلاقية. وفي حقيقة الأمر أن تعبير «مسؤول» يستخدم أحياناً حتى في الحديث عن الأشياء غير الحية ـ مثلاً، الجو الرديء هو المسؤول عن الحادث. وتتطلب الإجراءات القانونية من القاضي أو المحلفين أن يحددوا «المسؤولية»، أو، بعبارة أخرى، أن يحددوا سبب الحادث، بالرغم من أن التحليل العلمي يبين أن مفهوم «السبب» أو «السببية» إما أن يكون شديد التعقيد أو شديد الإبهام. وسوف نتناول في هذا الفصل الكلام عن دور هذه المفاهيم في العلم نفسه فقط، مغفلين دورها في اللغة الأخلاقية أو السياسية أو الدينية.

وربما تكون أفضل طريقة لفهم الصعوبات الماثلة في الصياغة العلمية للسببية هي أن نبدأ بالصيغة التي اعتبرت ملائمة لدى كثير من الناس، فلاسفة وعلماء وكهنوتيين، وغير متخصصين. إنهم يريدون أن يقولوا إنه إذا كنا نعتقد بأن السببية قانون عام فإن مستقبل الكون «يتحدد» في غير إبهام بواسطة الحاضر والماضي. ويبدو هذا النص، لأول وهلة يحتوي فقط على تعبيرات عن لغة الفطرة

السليمة؛ وإذا حاولنا أن نفهم هذه القضية حول «القضاء والقدر» فهماً دقيقاً، فسوف نواجه صعوبات هائلة. فسوف نرى قريباً أن النص حول «تحديد المستقبل» عبارة عن حشو لا يقدم معلومات عن العالم التجريبي. فالنص بأن «المستقبل محدد سلفاً» يبدو لنا منتمياً إلى لغة الفطرة السليمة لأننا ـ في تقاليدنا الدينية، مسيحية ويهودية ـ قد تعودنا على فكرة العقل الشمولي العلم الذي يجري في عقله هذا القضاء والقدر. أما عند الوثنيين، حيث الآلهة أقرب إلى البشر، فهم يرون أن هذا القضاء والقدر لا يجري في عقل الآلهة، ولكنه يتم في عقل «مصير» أعلى من الآلهة، وقد أصبح هذا المفهوم شائعاً، في ثقافتنا من خلال أوبرا واجنر «Twilight of the Gods».

وإذا كان العلم لا يدرج في خطته المفاهيمية عقلاً شمولي العلم من خلال نص بأن «المستقبل محتوم» (أي محدد) فإن هذا لا يعني سوى أنه محدد بواسطة قانون. وإذا لم يذكر شيء معين بشأن هذا القانون فمن السهل أن نرى أن مجرد «وجود» مثل هذا القانون ـ ما لم يكن يعني «وجود عقل شمولي العلم» فهو نص حشوي بشأن الكون لا يضع قيداً على أي احتمال. وقد قدم برتراند راسل[٣] النقاش القائم حول السمة الحشوية للنصوص بشأن «كون المستقبل محتوماً» تقديماً واضحاً. ولكي نبسط الأمور، لنفترض حدثاً في الكون عبارة عن تحرك نقطة مادية واحدة. وأياً ما كان يدخره المستقبل لهذه النقطة فسوف يكون وصفها عن طريق تعيين إحداثياتها x, y, z كدلائل للزمن t. أي أن مستقبل النقطة المادية ستحدده المعادلات الثلاث: $x=f_1(t)$، $y=f_2(t)$، $z=f_3(t)$. فإذا وجدت مثل هذه الدلائل $f_1(t)$، $f_2(t)$، $f_3(t)$ فإن «مستقبل الكون يتحدد. وبما أن الكون لا يوجد إلا مرة واحدة، فإن هذه الدلائل تحددها مسيرة الأحداث في الكون. ويقول راسل: «وصحيح أن المعادلات المعنية (f_1, f_2, f_3) قد تكون على درجة لا نهائية من التعقيد ولذلك فلن يكون من الممكن كتابتها أو استيعابها». ولكن هذا لا يعني سوى أننا غير قادرين على معرفة هذه المعادلات؛ إن «وجودها» ناتج من النص بأن «هناك كوناً واحداً». ولهذا فإن الكون المادي لا بد أن يخضع لمعادلات، والمستقبل يجب أن يحدد.

وقد يكون ما في الأمر أن المعرفة البشرية لا يمكنها استيعاب هذه المعادلات. ولهذا السبب أدخل «العقل الشمولي العلم» ليفسر «وجود معادلة الكون» كظاهرة ماثلة في عقل كائن يمكن فهمه عن طريق التماثل مع العقل البشري، رغم قدراته الأعلى. ولكي نصف ما يعنيه مبدأ السببية في عملنا الواقعي، فقد انجزنا معادلات أقل تعمياً من النص بأن «المستقبل محتوم». وليس المهم أن المستقبل محتوم ولكن المهم هو كيف أن المستقبل محتوم.

٢ - لابلاس، ونيوتن، والعقل الشمولي العلم

علمنا أن هدف العلم هو إقامة نظام للعلاقات بين رموز والتعريفات التشغيلية لهذه الرموز على نحو تصبح فيه النتائج المستخلصة من هذه النصوص نصوصاً بشأن حقائق منظورة تؤكدها المشاهدات الحسية الواقعية. وعلينا بالطبع أن نسأل ما هو موضع «السببية» في مثل هذا النظام للعلاقات والتعريفات. وعندما نبدأ في فحص هذا الأمر، نجد فوراً أن من العسير جداً أن نجد لقانون السببية مكاناً ضمن مبادىء العلوم. وقد يكون من الأفضل أن نبدأ من العلم الذي تقدم فيه التحليل المنطقي أكثر من غيره. ونحذف الهندسة التي لا يدخل فيها مفهوم الزمن، ولا يعالج فيها غير الظواهر الاستاتيكية (الساكنة) (الفصل ٣)، ونعود إلى قوانين الحركة في شكلها التقليدي النيوتوني (الفصل ٤) وقد شهدت نشأة العلم وارتقاؤه فترة ناجحة في هذا الصدد، عندما كان العلماء والفلاسفة يؤمنون بأن هذه القوانين هي القوانين الأساسية لكل ظواهر الطبيعية، أو هي كذلك على الأقل بالنسبة للعلوم الفيزيائية.

عند نهاية القرن الثامن عشر وضع الرياضي والفلكي الفرنسي الكبير، لابلاس، نصاً قد يعتبر أذكى صياغة لما كان يعتبر «قانوناً للسببية» كما كان يستخدم في العلم. ففي مقدمة كتابه «Theory of Probability» كتب لابلاس[٤]:

> لنتخيل عقلاً يعرف عند لحظة معينة من الزمان كل القوى الفاعلة في الطبيعة ومواضع كل الأشياء التي يتكون منها الكون؛ ولنتصور، أكثر من ذلك، أن هذا العقل سيضع كل هذه البيانات موضع التحليل. عندئذ سوف يمكنه أن يستنبط نتيجة تجمع في معادلة واحدة حركات أكبر الأجسام في الكون ،حركات أخف

الذرات. لن يكون هناك شيء لا يقيني بالنسبة لهذا العقل. فالماضي والمستقبل سيكونان حاضرين أمام عينيه.

ويمكننا بسهولة أن نرى كيف تخيل لابلاس طريقة عمل هذا العقل. يستطرد لابلاس قائلاً:

وقد أعطى العقل البشري صورة ضعيفة مجملة لهذا العقل ضمن الكمال الذي نجح في تحقيقه بالنسبة للهندسة... فكل الجهود التي يبذلها الإنسان في بحثه عن الحقيقة تهدف إلى الاقتراب من هذا العقل، غير أن الإنسان سوف يظل إلى الأبد بعيداً عنه.

وإذا نظرنا إلى علم الفلك في هذه الفترة كما قدمه لابلاس في كتابه «System of the World» يمكننا بسهولة أن نصف بنية معادلة الكون التي وضعها العقل السامي الذي يتوسل به لابلاس. إنه يتخيل عمل هذا العقل على أنه شبيه بعمل الفلكي الذي يشاهد المواضع الحالية للأجرام السماوية ويحسب منها مواضعها عند أي زمن t. ويفعل العقل السامي أكثر مما يفعله الفلكي بأن يفترض عدداً اعتباطياً من الأجسام، وظروفاً ابتدائية اعتباطية، وقوى تعمل بين الأجسام وقد لا تكون خاضعة لقانون الجاذبية لنيوتن. وعلى أية حال، افترض لابلاس قيداً واحداً على هذه القوى، وكان هذا القيد أمراً مسلماً به منذ سقوط الميكانيكا الأرسطوية حتى ظهور الميكانيكا النيوتونية. قال لابلاس: «يتحد المدار الذي يسير فيه جزيء واحد من الهواء أو البخار بنفس اليقين الذي تتحدد به مدارات الكواكب. والاختلاف بين المداراين إنما يرجع فقط إلى جهلنا».

وسوف نصف الآن الطريقة التي يحسب بها الفلكي المواضع المستقبلية للأجرام السماوية بمعرفة مواضعها وسرعاتها الحالية. وكل قانون يمكننا من أن نستدل من معلومات عن المكان والزمان في منطقة معينة، معلومات عن الزمان والمكان في منطقة أخرى، سوف نسميه قانوناً سببياً. وتحتوي ميكانيكا نيوتن بكل تأكيد على قوانين سببية، حيث إننا نستطيع بهذه الميكانيكا أن نحسب المواضع المستقبلية للأجرام السماوية. ومع ذلك، فإن «مبدأ السببية» يضع متطلبات معينة بشأن حدود تطبيق قوانين السببية أو حدود استخدامها في التنبؤ بالمستقبل. والعقل

السامي الذي ذكره لابلاس ستعمل به قوانين السببية التي يمكن بها التنبؤ بكل مستقبل الكون بواسطة معرفة حالته الراهنة. والقوانين السببية التي استخدمت في التنبؤ بمدارات الأجرام السماوية يمكن استنباطها من قوانين الحركة لنيوتن.

علمنا في (الفصلين ٣، ٤) أن القوانين الفيزيائية لا تتكون فقط من رموز وعلاقات بين تلك الرموز. فمثل هذه العلاقات من شأنها أن تكون بديهيات أوقليدية في الهندسة أو قوانين نيوتونية للحركة. ولكي يمكن استنباط نتائج تتعلق بحقائق منظورة يجب أن نضيف التعريفات التشغيلية لهذه الرموز. وكذلك يجب أن نتذكر أن النصوص الآتية بشأن التنبؤات إنما تشير فقط إلى القيم المستقبلية للرموز. ويعتمد ارتكازها في التنبـؤ بالحقائق المنظورة على اختيارنا للتعريفات التشغيلية.

ولنعتبر عدد N من النقط الكتلية، ذات الكتل $m_1, m_2, \ldots m_N$. ولتكن x_k, y_k, z_k هي الإحداثيات الكرتيزية للنقطة الكتلية m_k. القوة المؤثرة على m_k لها مركبات X_k, Y_k, Z_k ذات دلائل إحداثياتها هي:

$x_1, y_1, z_1; x_1, y_1, z_1; \ldots . x_n, y_n, z_n$

وعندئذ تكون معادلات الحركة هي:

$$m_k = \frac{d^2x_k}{dt^2} = X_k, \quad m_k = \frac{d^2y_k}{dt^2} = Y_k, \quad m_k = \frac{d^2z_k}{dt^2} = Z_k.$$

حيث X_k, Y_k, Z_k هي دلائل للإحداثيات $x_1, y_1, z_1, \ldots x_n, y_n, z_n$ وإذا أدخلنا مركبات السرعة:

$$u_k = \frac{dx_k}{dt}, \quad u_k = \frac{dy_k}{dt}, \quad w_k = \frac{dz}{dt}$$

فإننا نستطيع أن نكتب معادلات الحركة بحيث نستطيع أن نعرف أنها قوانين سببية. ويجب أن نتذكر أن كل جسيم له عند كل لحظة موضع وسرعة هما:

$x_1, y_1, z_1, \ldots . x_n, y_n, z_n; u_1, v_1, w_1, \ldots u_n, v_n, w_n.$

وإذا عرفت هذه القيم عند لحظة معينة، فإن قوانين الحركة تمكننا من حساب مقادير هذه الكميات عند أي لحظة مقبلة أو ماضية t. ويتضح هذا من أن ما تفعله قوانين الحركة هو في الواقع كما يلي: الزيادات في الكميات:

$x_1, y_1, z_1, \ldots x_n, y_n, z_n, u_1, v_1, w_1, \ldots\ldots x_n, y_n, z_n.$

تعطيها دلائل هذه الكميات نفسها:

$$m_k \frac{du_k}{dt} = X_k (x_1 \ldots\ldots w_n)$$

$$m_k \frac{dv_k}{dt} = Y_k (x_1 \ldots\ldots w_n).$$

$$m_k \frac{dw_k}{dt} = Z_k (x_1 \ldots\ldots w_n).$$

$$\frac{dx_k}{dt} = u_k, \quad \frac{dy_k}{dt} = v_k, \quad \frac{dz_k}{dt} = w_k.$$

ولكي نجعل خطة معادلات الحركة هذه أكثر بساطة، يمكننا أن نرمز إلى مركبات إحداثيات جميع الجسيمات في كل الاتجاهات

$x_1, x_2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots x_n \ (n=3N)$

بالمركبات المناظرة للسرعة

$u_1, u_2 \ldots\ldots u_n.$

ولذلك فإن معادلات الحركة تبدو على هذا النحو:

$$m_k \frac{du_k}{dt} = X_k (x_1, \ldots u_n) \ldots \text{etc},$$

$$\frac{dx_k}{dt} = U_k \ldots \text{etc},$$

وهذه حالة خاصة من نمط من النظم أكثر تعمياً. وإذا سمينا

$x_1, x_2, x_3 \ldots x_n, u_1, u_2, u_3 \ldots u_n.$

«متغيرات الحالة» لنظامنا الميكانيكي، ورمزنا إليها بنفس الرمز مع الـدليل $E_1, \xi_2, \ldots \xi_{3N}$ ، فإن معادلات الحركة تتخذ الشكل

$$\frac{d\xi}{dt} = F_k (\xi_1, \xi_2 \ldots) \ K=1,2, 3 \ N.$$

وهذا يعني أنه إذا وصفت «حالة نظام» بواسطة $n=3N$ متغير حالة، فإن «التزايدات في هذه المتغيرات» ($\frac{d\xi_k}{dt}$) تعطى كدلائل F_k للقيم الحالية (القيم الابتدائية لهذه المتغيرات للحالة.

وتعلمنا النظرية الرياضية للمعادلات التفاضلية أن «نكامل» نظاماً على شكل

$$\frac{d\xi_k}{dt}=F_k(\xi_1, \xi_2,....), (K=1, 2 ... n)$$

وهذا يعني أنه إذا عرفنا قيم متغيرات الحالة فإننا نستطيع ايجاد قيم $\xi_1 .... \xi_N$ ، (وبعبارة أخرى، الدالة F_k). والمعادلات التفاضلية أداة تمكننا من حساب قيم متغيرات الحالة عند كل الأزمنة t إذا كانت القيم معروفة عند أي لحظة $t=0$. ويمكننا أن نسمي ذلك «تنبؤاً» لأننا نحسب القيم المستقبلية من القيم الحالية. وعلينا، على أية حال، أن نتذكر أن بمقدورنا كذلك أن نحسب قيم متغيرات الحالة عند الزمن $t<0$، أي في الماضي.

٣ ـ القالب الرياضي للقانون السببي

عرفنا أن قوانين الحركة لنيوتن تمكننا من التنبؤ بالمستقبل إذا عرفنا الحاضر لأن هذه القوانين لها الشكل

$$\frac{d E_k}{dt}=F_k(\xi_1, \xi_2,...) (K= 1, 2,... n)$$

وطبقاً للنظرية الرياضية للمعادلات التفاضلية، إذا عرفت قيم «متغيرات الحالة» عند اللحظة الحاضرة $t=0$، فإن المرء يستطيع أن يتنبأ بقيمها عند أي زمن (t) في المستقبل أو في الماضي. وكل القوانين التي على هذا النمط تسمى «قوانين سببية». ويتطلب «مبدأ السببية» العام أن تكون كل الظواهر خاضعة لقوانين سببية لها الشكل

$$\frac{d\xi_k}{dt}=Fk(\xi_1, \xi_2,... \xi_N)$$

حيث $\xi_N ....\xi_1$ أية متغيرات تحدد «حالة» نظام فيزيائي عند الزمن t.

وسوف نرجىء مناقشة مبدأ السببية العام عند هذا الحد، ونؤكد فقط على أن الاعتقاد بهذا المبدأ العام يجد دعماً من الحالة الخاصة لعلم الفلك حيث المتغيرات ξ_k هي الإحداثيات والسرعات للنقط الكتلية، والدلائل F_k هي معادلات رياضية بسيطة مستنبطة من قوانين الجاذبية لنيوتن. وفضلاً عن ذلك فإن العدد n في كل التطبيقات التي يمكن إجراؤها عدد صغير؛ وبعبارة أخرى، فإن

الظروف الابتدائية عند الزمن الحالي t=0 معروفة على نحو بسيط. ومن هذه الفروض البسيطة يمكن حساب مدارات الأجرام السماويـة الهائلة التعقيـد باستخدام التحليل الرياضي المعتاد. كان السبب في هذا النجاح هو بساطة القوانين إذا قورنت بتعقيد الحقائق المنظورة.

ومع ذلك، إذا اعتبرنا F_k دلائل اعتباطية للمتغيرات E_k وأجزنا ظروفاً ابتدائية معقدة فقد يصح تطبيق القانون السببي

$$\frac{d\xi_k}{dt}=F_k(\xi_1\ldots\xi_N)$$

ولكنه لا يضمن نفس القدر من النجاح. وربما كان تعقيد القانون مثل تعقيد الحقائق المنظورة. وعلى هذا فلن تكون هناك مصلحة في أن نستبدل بالوصف المباشر للمشاهدة وصفاً آخر «غير مباشر» يسمى قانوناً ليس أبسط من الأول (المباشر).

وموضوعنا الآن هو أن نفحص دور قانون السببية العام عندما يكون علينا ألا نكتفي بالحالة الخاصة بالفلك، وإنما تكون F_k والظروف الابتدائية على درجة اعتباطية من التعقيد. وللتغلب على هذه الصعوبة أدخل لابـلاس «العقل السامي»؛ وبسبب قدراته الشاملة فإن الحالة العامة تصبح بسيطة بالنسبة له، كبساطة الفلك العادي بالنسبة للكائن البشري. وعندئذ فإن مبدأ السببية يقول بأن هناك عقلاً سامياً يعرف كل القيم الابتدائية لمتغيرات الحالة، ويعرف كل الدوال F_k، وهو على درجة من الحذق الرياضي بحيث يستطيع أن يتنبأ بكل القيم المستقبلية لمتغيرات الحالة وذلك بحل المعادلات التفاضلية.

وعلينا أن نتذكر أن لابلاس أدخل «عقلاً سامياً» في صياغة السببية. وهو لم يكن مؤمناً بالطبع أن هذا العقل كان شيئاً أساسياً في صياغة السببية. ومن طريف ما يروى أن لابلاس عندما قدم إلى الامبراطور نابليون نسخة من مؤلفه «System of the World»، سأله الامبراطور: وأين موضع الله في هذا النظام؟ فأجاب لابلاس «سيدي، لست في حاجة الى هذا الفرض». ومن المهم أن نلاحظ أن لابلاس الذي لم يكن في حاجة إلى فرض وجود الله في كتابه عن الفلك، قد احتاج الى «عقل سام» في صياغته لمبدأ السببية. وقد كان يعتقد بطبيعة الحال أن هذه

ليست سوى طريقة مناسبة للتعبير، وأنه يمكن التخلص من «العقل السامي»، وأن مبدأ السببية يمكن أن يصاغ بالاسناد إلى القدرة البشرية وحدها.

ومع ذلك، فإن هذا الأمر ليس بالبساطة التي يبدو بها. فيجب علينا أن نقول: هناك دلائل f_k للمتغيرات ξ_N ...ξ_1 تتسم بأن $d\ E_k/dt= F_k$ تمكننا من التنبؤ بالقيم المستقبلية وذلك من القيم الحالية ξ_N .... ξ_1 ، ولكننا إذا لم نكن نعرف على وجه التحديد ما هي هذه الدوال فإن مجرد وجود هذه الدوال لا يعني سوى أن القيم المستقبلية للمتغيرات ξ_k يمكن «تعيينها» على نحو ما بواسطة القيم الابتدائية، أو، بعبارة أخرى، أن التزايدات في ξ_k (أي $d\ \xi_k/dt$) تتعين بواسطة E_k نفسها. وإذا لم ندخل «العقل السامي» الذي «يعرف» الدوال Fk أو يقدم بوضوح معادلة للدوال F_k، فإن كلمة «تحديد» (أو تعيين) قد لا تعني سوى أننا نتخذ صفة ما للدلائل F_k من شأنها أن تفيد الإمكانيات. وهذا شبيه بما عرفناه من (الفصل ٤) (قوانين الحركة)، بأن قوانين نيوتن لا تكون مفيدة إلا إذا أضفنا الافتراض بأن «القوى» هي دوال «بسيطة» للإحداثيات. وإذا فسرنا ميكانيكا نيوتن (كما نفعل في هذا القسم) على أنها نظام لقوانين سببية، فإن هذا يعني أن F_k هي دوال بسيطة للمتغيرات ξ_N ....ξ_1 . وإذا أجزنا تعقيداً اعتباطياً للدوال $F_k(\xi_1 .... \xi_N)$، فإن مجرد النص «بالوجود» لن يكون نصاً بشأن حقائق، وإنما يكون نصاً حشوياً لا يمكن دحضه بأي تجربة.

ويمكننا دائماً في كلتا الحالتين أن نعتبر أن القيم المستقبلية للمتغيرات ξ_k هي دلائل للزمن t والقيم الابتدائية؛ وإذا حددنا أي قيم اعتباطية للمتغيرات ξ_k لقيم الزمن t، فإن العلاقة يمكن أن توصف دائماً بواسطة إحدى الصيغ. وإذا أردنا أن تكون لقانون السببية قيمة فعلية في التنبؤ بالمستقبل، فعلينا أن ندخل نوعية مبهمة من «البساطة» التي تعتمد بالطبع على الوضع السيكولوجي والاجتماعي لرجل العلم في فترة معينة. ونعني هنا بالمعادلة «البسيطة» أن تكون معادلة (قابلة للحل). وبما أن «التنبؤ بالمستقبل بواسطة أناس عاديين» هو نشاط مجموعة الأنشطة البشرية، فمن المفهوم أن معيار «البساطة» يمكن أن يطبق على قانون سببي بالرغم من أن تقديرنا لبساطة القانون يتوقف على اعتبارات سيكولوجية واجتماعية.

٤ ـ المتغيرات ذات العلاقة وغير ذات العلاقة

إن مجرد افتراضنا بأن الصيغ $F_k(\xi_1 \ldots \xi_N)$ صيغ «بسيطة» وأن الظروف الابتدائية بسيطة، لا يجعلنا على يقين بعد بأن مبدأ السببية هو نص بشأن الوقائع المنظورة. ومع ذلك، فإننا إذا افترضنا أن هناك تعريفات تشغيلية تمكننا من أن نعطي قيماً عددية لمتغيرات الحالة $(\xi_1 \ldots \xi_N)$ بواسطة عملية قياس، فإن المبدأ يقول بأن كل الوقائع المرئية محكومة بقوانين سببية تمكننا من التنبؤ بقيم للمتغيرات $(\xi_1 \ldots \xi_N)$ يمكن قياسها بواسطة قيمها المقاسة في الوقت الحاضر. ونحن لا نعبأ الآن بتحديد العمليات التي تعطي هذه القيم. فهل يمكننا عندئذ أن نختبر مبدأ السببية؟ سوف يكون هذا أمراً ممكناً فقط إذا أمكننا أن نتخيل عالماً كان مبدأ السببية فيه مبدأ خاطئاً. ففي مثل هذا العالم لا يمكننا أن نتنبأ بحركة الكواكب بقوانين تناهز في بساطتها قوانين نيوتن؛ ولكننا طبعاً لا يمكننا أن نثبت بواسطة أي تجربة أن ايجاد مثل هذا القانون السببي كان أمراً مستحيلاً. وبوضع مبدأ السببية في هذا الشكل لا يمكننا سوى أن نتخلى عنه يائسين، لأننا نعرف أننا، إذا بدأنا بهذا الفرض فلن نحقق نجاحاً.

ومع ذلك، يمكننا أن نستخلص من مبدأ السببية إحدى النتائج التي تعتمد على القالب الخاص للدوال F_k والتي قد نستطيع اختبارها بواسطة التجربة. وأياً كان الشكل الخاص للدوال F_k، فهناك أمر مؤكد وهو أن معدلات التغيير $d\xi_k/dt$ تتوقف فقط على القيم الحالية للمتغيرات $(\xi_1 \ldots \xi_N)$ وفي كل مرة تسترد فيها هذه المتغيرات قيمها الابتدائية فإن معدلات التغيير تسترد قيمها أيضاً. وبعبارة أخرى، إذا تكررت حالة نظام فإن كل الحالات التالية تتكرر أيضاً. فإذا سمينا أحد نظم القيم للمتغيرات «بالحالة A» لنظامنا فيمكننا أن نقول: إذا كانت الحالة B لنظامنا تعقب الحالة A، ففي كل مرة يعود فيها النظام إلى الحالة A فإن الحالة B تعقبها. وهذه صياغة لمبدأ السببية لا تستخدم فيها تعبيرات مثل «الصيغة البسيطة». ويجب أن نتذكر أنه عندما نقول إن النظام «في الحالة A» أو «الحالة B» فإننا نعني أن للمتغيرات ξ_k قيماً عددية معينة. والنص بأن «A تعـود» أو «B تعود» مسنـد إلى قيم متغيرات الحالة فقط وليس إلى الوقائع المرئية.

كيف نفعل الآن لكي نجد مشاهدة يمكنها أن تدحض النص بأنه «إذا عادت A فإن B تعود أيضاً»؟ يجب أن نشاهد وجوداً حقيقياً للحالة A مرة ثانية ونشاهد أن الحالة B لا تعود مرة ثانية مع أنها أعقبت A عندما وقعت في المرة الأولى. وعلينا أن نعتبر أنه من الأمور المسلم بها أننا نعرف طريقة قياس نستطيع أن نحدد بها قيماً عددية للمتغيرات ع$_k$. وإذا كان مبدأ السببية مبدأ سليماً فيجب أن نفهم أن «الحالة A» و«الحالة B» هما حالتان للكون بأجمعه. ومعنى هذا أن الحالة تتحدد إذا عرفت قيم عددية معينة لإحداثيات وسرعات كل الكتل الموجودة بالكون. وبما أن عدد هذه الكتل هائل، يقدر بالبلايين والبلايين، فإن «عودة الحالة A» تعني أن بلايين وبلايين المتغيرات يجب أن تتخذ قيمها الابتدائية مرة أخرى. ومثل هذا الحدث لا يمكن بالطبع أن نتحقق منه بواسطة أي مشاهدة. ومعنى هذا أنه لا يمكننا في الواقع أن ندقق صلاحية مبدأ السببية بواسطة عودة حالة A. ولكي يكون الاختبار ممكناً لا يصح أن نتطلب أكثر من أن تكون العودة التقريبية للحالة A تعقبها عودة تقريبية للحالة B.

ويمكننا أن نضع مبدأ السببية على شكل «قابل للاختبار» بصياغة مضمونة على النحو التالي: نحدد الحالة A كحالة للكون تتخذ فيها مجموعة من المتغيرات ع$_k$ قيماً معينة بينها تكون قيم المتغيرات الأخرى (من E_k) «غير ذات علاقة». يتطلب مبدأ السببية عندئذ أنه إذا وقعت الحالة B عقب الحالة A مرة فإن عودة الحالة A لا بد أن تعقبها عودة B، مهما كانت قيم المتغيرات ع$_k$ غير ذات العلاقة. ومن الواضح أن هذا المبدأ لا يمكن دحضه بواسطة التجربة. فإذا شاهدنا أن B لا تعقب A في حالة معينة فإن هذا لا يثبت سوى أن عودة A لم تكن عودة «حقيقية». ويمكننا فقط أن نشاهد أن عدداً من المتغيرات ع$_k$ وليكن n قد استعاد قيمته الابتدائية؛ وبعض المتغيرات الأخرى غير ذات العلاقة قد لا تفعل ذلك. وهذا لن يدحض مبدأ السببية إلا إذا كنا نعرف بالضبط أي المتغيرات ع$_k$ هي المتغيرات ذات العلاقة. غير أنه بالاضافة إلى المتغيرات التي عرفت على أنها ذات العلاقة قد تكون هناك متغيرات أخرى يجب أن تسترد هي الأخرى قيمها لكي نكون على يقين من أن B سوف تعقب A. ومن الناحية النظرية فإننا في كل مرة لا تعقب فيها الحالة B الحالة A يمكننا أن نفترض أننا أخطأنا عندما اعتبرنا أن من

الأمور المسلم بها أن المتغيرات التي لا تستعيد قيمها الابتدائية هي متغيرات «غير ذات علاقة».

والشيء الوحيد الذي يمكن أن نؤكده هو أن المرء في كثير جداً من الحالات يستطيع أن يفرز مجموعة صغيرة نسبياً من المتغيرات «ذات العلاقة». وعلى هذا فإن مبدأ السببية يقضي بأنه في كل وضع من أوضاع الكون الفيزيائي يمكننا أن ندخل عدداً صغيراً من المتغيرات «ذات العلاقة» التي تتصف بما يلي: إن عودة عدد صغير من المتغيرات إلى قيمها الابتدائية ينطوي على أن «حالة A» قد عادت. ومرة أخرى، سوف ينطوي على أن «الحالة B» سوف تعود هي الأخرى. وبالطبع يمكن «إثبات» مبدأ السببية» هذا بواسطة التجربة أو المشاهدة. ويتسم هذا الإثبات بقدر من الإبهام. إذ ان مـن المبهم أن نقول إن عودة «عدد صغير من المتغيرات» إلى قيمها الابتدائية (A) يكفي لأن تترتب عليها عودة B[٦].

٥ ـ قوانين السببية في نظرية المجال

أغفلنا حتى الآن موضوع العلاقة بين النقط الكتلية النيوتونية والظواهر التي نراها فعلاً. اعتبر نيوتن ومن جاؤوا بعده مباشرة أن هذه العلاقة بسيطة جداً ولا تتطلب كثيراً من المناقشة. ومع ذلك، فإننا عندما نطبق الميكانيكا في الموضوعات الفنية الواقعية، لا نعتبر الجسم الصلب أو المائع منظومة من النقط الكتلية ولكننا نعتبره سلسلة متواصلة. ونحن مثلاً لا نصف حالة جسم مائع بأن نصف مواقع وسرعات نقطه الكتلية، ولكنا نصفه باعتباره سلسلة متواصلة واصفين كل نقطة منه بواسطة إحداثياتها x, y, z. ونصف «حالة الجسم المائع» عندئذ بسرعة كل الكتل عند كل لحظة. والكتلة الواقعة عند النقطة (x, y, z) عند الزمن (t) يمكن أن تكون لها ثلاث مركبات للسرعة (u, v, w) كدلائل للمتغيرات x, y, z والزمن t. وإذا عرفنا الدلائل

$$u(x, y, z, t), v(x, y, z, t), w(x, y, z, t)$$

فإننا نعرف حالة المائع عند الزمن الحاضـر (t=0) والمستقبل (t>0). والماضي (t<0).

ويمكننا قانون سببي من حساب «متغيرات الحالة u, v, w» لكل زمن في المستقبل إذا كانت معروفة في الحاضر (t=0). وإذا رمزنا إلى معدلات التغير الزمني للكميات u, v, w بالرموز $\frac{\partial u}{\partial t}, \frac{\partial v}{\partial t}, \frac{\partial w}{\partial t}$، فإن القانون السببي يعطي هذه المعدلات كدلائل للكميات u, v, w والمشتقات الميكانيكية.

$$\frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial u}{\partial y}, \cdots \frac{\partial w}{\partial z}, \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, \frac{\partial^2 u}{\partial x \, \partial y}, \cdots .$$

ومن ثم فإن القانون السببي يكون على شكل

$$\frac{\partial u}{\partial t} = F\left(u, v, w, \frac{\partial u}{\partial x}, \cdots \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, \cdots\right)$$

بالإضافة إلى المعادلتين المناظرتين لكل من $\frac{\partial v}{\partial t}, \frac{\partial w}{\partial t}$. ويتوقف شكل الدالة F على التلاحم بين أجزاء الجسم الصلب أو الجسم المائع. ويعني مبدأ السببية عندئذ أن كل حركات الأجسام الصلبة أو المائعة تتبع قانوناً على شكل

$$\frac{\partial u}{\partial t} = F(u,v, \cdots)$$

وفيه تعتمد الدلائل F على طبيعة الجسم، لزوجة المائع (ومرونة الجسم الصلب أو قابليته للتهشم).

ولذلك، يتضح أننا لا يمكننا قط أن نجد ظاهرة مرئية يمكنها دحض مبدأ السببية، لأننا لا نستطيع أبداً أن نتحقق من عدم وجود دالة يمكن استخدامها في وصف الظواهر التي تقع في الأجسام الصلبة أو المائعة. ومن ناحية أخرى، فإن تحقيق مبدأ السببية يقوم على عملية يكون فيها عدد كبير جداً من الأجسام التي يمكن تحديد الدوال F لها، والتنبؤ تنبؤاً سلبياً بقيم u, v, w في المستقبل إذا عرفت هذه القيم في الحاضر. ووجود هذه الدوال هو المعنى الفيزيائي الحقيقي لمبدأ السببية. وبعبارة أخرى، يعبر مبدأ السببية عن الاعتقاد (أو على الأقل يعبر عن الأمل) في إمكانية وجود مثل هذه الدالة لكل أنواع الأجسام، سواء كانت سائلة أو صلبة، مرنة أو لدنة. ويجب أن ينطبق هذا المبدأ على كل الظواهر الفيزيائية إذا كنا نؤمن بأن كل الظواهر الفيزيائية تخضع لقوانين الميكانيكا التقليدية. وقد عرفنا، على أية حال، أن مبدأ السببية يمكن أن يمتد أيضاً إلى الفروض الفيزيائية الأكثر تعمياً.

وفي الربع الأخير من القرن التاسع عشر، تزايد الاعتراف بأن ظواهر الكهرومغنطيسية لا تخضع للميكانيكا النيوتونية، ولكنها وإنما تنتمي إلى نظام مبادىء منفصل، حيث تمثل الميكانيكا النيوتونية حالة خاصة من هذا النظام. فلم تعد «حالة النظام» توصف بالسرعة عند نقطة معينة x, y, z عند الزمن t، ولكنها توصف بواسطة شدة المجالين الكهربائي والمغنطيسي عند x, y, z عند الزمن t. فالقانون السببي في نظرية المجال الكهرومغنطيسي هو الآن معادلة تمكننا من حساب قيمتي شدتي المجالين في المستقبل إذا عرفنا توزيع شدتي المجالين في الحاضر. ومن الناحية الرياضية تبدو قوانين السببية مثلها تماماً كما في الميكانيكا، بعد إحلال شدة المجالين محل السرعات u, v, w. وقد عممت نظرية المجال الكهرومغنطيسي هذه في «النظرية العامة للمجال». فيمكننا أن نفترض أن هناك مجالات أخرى مثل المجال التثاقلي (الجاذبية) والمجال النووي، فضلاً عن المجال الكهرومغنطيسي. فإذا رمزنا إلى مركبات كل هذه المجالات بالرموز $u_1, u_2, u_3, \cdots, u_n$ فإن قانون السببية يتخذ الشكل

$$\frac{\partial u_k}{\partial t} = F_k\left(u_1, u_2, \cdots u_n, \frac{\partial u_1}{\partial x_1}, \cdots \frac{\partial u_n}{\partial x_n}, \frac{\partial^2 u_1}{\partial x_1^2}, \cdots\right) \quad (k = 1, 2 \cdots n)$$

يتطلب مبدأ السببية إذن أن كل الظواهر الفيزيائية يمكن وصفها بواسطة معادلات من هذا النوع. وإذا عرفت $u_1, \ldots, u_n$ عند الزمن الحاضر (t=0) لكل x, y, z فإنه يمكن حساب القيم المستقبلية من المعادلات.

ومن الواضح أن مبدأ السببية في فيزياء نظرية المجال أكثر إبهاماً منه في الفيزياء الميكانستية، حيث تعتبر كل الظواهر قابلة لأن تستنبط من قوانين الحركة لنيوتن. وليست الدوال F_k هي وحدها غير المعنية مثلما كانت «القوى» في الفيزياء النيوتونية، ولكن متغيرات الحالة U_k نفسها غير معينة، بينما المعروف أن كل متغيرات الحالة في الفيزياء النيوتونية هي مواضع وسرعات. ومن ثم نرى أن كل الصعوبات التي واجهتنا في الفيزياء النيوتونية لصياغة مبدأ السببية لا تزال قائمة في فيزياء المجال. وليس هناك معنى واضح للقول بأننا نستطيع تحديد المستقبل من خلال معرفة الحالة الحاضرة إلا إذا أدخلنا عقلاً شمولي العلم أو وضعنا معادلات نحدد بواسطتها التزايد في متغيرات الحالة في وحدة الزمن، أي الدالة F_k.

ومن الواضح أيضاً أن المضمون الواقعي لمبدأ السببية في فيزياء المجال أقل منه في الفيزياء النيوتونية. ففي الفيزياء النيوتونية يمكننا أن نقول: إذا اتخذت كل القوى عند الزمن $t=t_1$، فإنها بعد t_1 سوف تمر بنفس القيم التي مرت بها بعد t_0. أما في حالة فيزياء المجال فإن النص بأن كل متغيرات الحالة $u_1, u_2,....$ تستعيد قيمها الابتدائية لن يكون له معنى محدد إلا إذا استطعنا أن نحصي كل متغيرات الحالة. وفيما عدا ذلك، فإن مبدأ السببية لا يقول سوى أنه إذا أعقبت الحالة B الحالة A في إحدى المرات، فإنه في كل مرة تعود فيها الحالة A سوف تتبعها الحالة B. ومن الواضح على أية حال أن هذا النص من حشو الكلام. فنحن لن نستطيع أن نعرف أن الحالة A قد عادت إلا إذا أعقبتها الحالة B مرة ثانية. ولكي نكسب مبدأ السببية معنى واقعياً علينا على الأقل أن نفترض أنه في كل مرة يستعيد فيها عدد صغير من متغيرات الحالة قيمه الابتدائية فإن «الحالة A» تكون قد عادت وسوف تعود الحالة B أيضاً. وكلما زاد عدد متغيرات الحالة $u_1, u_2...$ كلما تضاءل المضمون الواقعي لمبدأ السببية. وإذا كان العدد كبير جداً فلن نستطيع أن نعرف أبداً متى عادت الحالة A فعلاً؛ فسوف يكون هناك دائماً مجال للظن بأننا قد تركنا أحد المتغيرات وأغفلناه وأن هذا المتغير لم يسترد قيمته الابتدائية. ولا يمكننا عندئذ أن نقول إن الحالة B سوف تعود مرة أخرى. فنحن لسنا على يقين من أن A قد عادت فعلاً وهذا بالتأكيد هو الوضع عندما يصبح عدد متغيرات الحالة غير محدود؛ وهنا يصبح مبدأ السببية من حشو الكلام؛ فلن يكون على الاطلاق نصاً بشأن الواقعة الفيزيائية.

وإذا شئنا أن نجنب مبدأ السببية من الانزلاق إلى مستوى الحشو، فعلينا أن نصوغه على النحو التالي: يمكننا بإدخال عدد صغير من متغيرات الحالة أن نتأكد أن عودة هذا العدد الصغير من متغيرات الحالة إلى قيمتها الابتدائية ستعقبه الحالة B التي أعقبته في المرة الأولى. وذلك يعني في اللغة المعتادة للعلوم الفيزيائية أنه ليست هناك سوى أنواع قليلة من القوى التي تحدد تغيرات الحالات ـ مثل القوى الجاذبية والكهرومغنطيسية وهكذا. وإذا لم نكن على يقين من أن عدد القوى صغير، فلن نستطيع أبداً أن نكون على يقين من أن «الحالة A»، يمكن أن تعود لأن كل القوى المعروفة كانت لها نفس القيم، فقد تكون هناك قوة غير معروفة ويمكن أن تجعل

الحالة مختلفة عن الحالة الابتدائية. ولذلك لا يمكن توقع عودة الحالة B. ولكي نحول دون أن يصبح مبدأ السببية كلاماً حشواً يجب أن ندخل تعبيرات مبهمة مثل «عدد صغير من متغيرات الحالة» و«قوانين بسيطة للقوة (F_k)». وعلينا أن نختار بين أن يكون مبدأ السببية محدداً وحشوياً أو مبهماً وواقعياً[٧].

٦ ـ «ثغرات» في القوانين السببية

انطوت المواقف الفلسفية والدينية تجاه قوانين السببية على تكريس قدر كبير من الاهتمام نحو «الثغرات» الممكنة في التسلسلات السببية. هل تتحدد الحركة المستقبلية لمنظومة عند كل «حالة A» أم أن هناك بعض الحالات، وربما تكون حالات استثنائية، لا تحدد الحالات المستقبلية B تحديداً غير مبهم؟ وإذا بدأنا من الصيغة الكلاسيكية لنيوتن: «القوة تساوي الكتلة مضروبة في معدل تغير السرعة»، فإن هذا المعدل يتحدد حيثما تتحدد «القوة». وإذا كنا نعني «بالقوة» التجاذب النيوتوني بين نقطتين كتليتين، والذي يتناسب عسكياً مع مربع المسافة ($1 / r^2$)، فإن هذه العبارة تصبح غير محددة عندما تكون الحالة الحاضرة نقطة «مفردة» في المعادلة التفاضلية للحركة. ونحن نعرف من النظرية الرياضية للمعادلات التفاضلية أن الحركة لا تتحدد تحديداً فريداً إذا أعطينا قيم الإحداثيات عند نقطة مفردة. وإذا بدأنا من نقطة مفردة فإن حل المعادلة يمكن أن يتم بطرق متعددة. ويصبح هذا الوضع أكثر وضوحاً إذا طبقنا هذه الاعتبارات على دنيا الذرات والجزئيات. وفي النظرية الميكانيكية للحرارة تعتبر الغازات أعداداً كبيرة من الجزئيات المتصادمة. وهناك نقطة مفردة عند كل تصادم، ولا تحدد الحركة المستقبلية دائماً بواسطة الجزئيات المتصادمة، مثلاً عندما يصطدم جزئيان متساويان يتحركان بنفس السرعة في اتجاهين متضادين (اصطدام مواجه) ومن ثم فإن هناك حركات متعددة للجزيئين يمكن أن تكون متفقة مع حركتهما قبل التصادم.

تناولنا القوانين السببية حتى الآن باعتبارها نصوصاً بشأن استنتاجات رياضية من معادلات الحركة. وقد حددت «حالة النظام» بواسطة مجموعة القيم التي تتخذها، متغيرات الحالة، مثل إحداثيات النقط الكتلية وسرعاتها. وقد قصدنا «بالقيم» «الأعداد الحقيقية» (بالمعنى الرياضي) التي تتخذها المتغيرات.

ومع ذلك فإن الوضع يتغير عندما نتساءل: هل من الممكن أن نتنبأ بالمشاهدات المستقبلية من خلال الحالات المرئية حالياً للنظام أو الكون كله؟ ولن تكون نتيجة القياسات عدداً بالمعنى الرياضي، ولكنها تكون دائماً فاصلاً معيناً. وعلى سبيل المثال لا يمكننا أن نميز بالقياس المرئي ما إذا كان طول جسم معين عدداً جذرياً أو غير جذري. ولهذا فإن الحالة الابتدائية a لنظام لا تعطى بأعداد تتخذها متغيرات الحالة $u_1,...u_n$، ولكنها تعطى بفاصل تقع هذه الأرقام بين حديه. فكثير جداً من «الحالات العددية» للمنظومة $A_1, A_2....$ قد تناظر حالة مرئية واحدة. وكل هذه الحالات $A_1, A_2....$ شديدة التقارب إحداها من الأخرى بحيث يمكننا أن نختار قيمة متوسطة A باعتبارها القيمة التقريبية لكل الحالات $A_1, A_2....$.

وإذا كانت القيمة المرئية A تعقبها قيمة ضوئية أخرى B، فهل ـ استناداً إلى قوانيننا السببية الرياضية ـ نكون على يقين من أن عودة A سوف تتبعها عودة B؟ وبالتحديد، هل نستطيع أن نستنتج من قوانين السببية الرياضية أن قانوناً سببياً مماثلاً سوف يكون أيضاً صالحاً للتطبيق على الحالات المرئية للنظام؟ والواضح أنه لن يكون. ويمكننا من قانون السببية الرياضي أن نستنبط أن الحالة A_1 تصبح B_1 بعد زمن معين t، والحالة A_2 تصبح B_2، والحالة A_3 تصبح B_3 وهكذا. وإذا كانت الحالات$B_1, B_2, B_3....$ متقاربة بحيث تناظر حالة مرئية واحدة، فيمكننا بالتأكيد أن نستنتج أنه عندما توجد حالة مرئية A فإن الحالة المرئية B سوف توجد أيضاً وأنه سوف يكون لدينا قانون سببي للظواهر المرئية. أما إذا كانت $B_1, B_2, B_3....$ غير متقاربة فلا يمكننا أن نتنبأ بأن الحالة A سوف تعقبها دائماً الحالة B. وعندما يقال إن «الحالة المرئية A «موجودة» فإن ذلك قد يعني في بعض الحالات وجود A_1، ووجود A_2 في حالات أخرى. ففي إحدى الحالتين نجد أن A سوف تعقبها B_1 وفي الحالة الأخرى سوف تعقبها B_2. ومع ذلك، قد تكون B_2, B_1 مختلفتين جداً بحيث لا تناظران نفس الحالة المرئية.

ونلاحظ أن صلاحية القانون السببي للحالات المرئية تعتمد على افتراض واحد بشأن القانون الرياضي، وهو: إذا تقاربت حالتان A_1، A_2 للنظام تقارباً شديداً عند الزمن الحاضر (t=0)، فإن الحالتين B_1، B_2 اللتين يصل إليهما النظام

عند لحظة لاحقة (T=T) تكونان أيضاً متقاربتين جداً مهما كانت قيمة T. وبعبارة أخرى، لا يمكن للتغير الصغير في الحالة الابتدائية (t=0) أن ينشأ عنه تغير كبير في الحالة النهائية (t=T) والتعبير التقني في الميكانيكا لهذا الاقتضاء هو أن الحركة التي تبدأ من A لا بد أن تكون حركة «مستقرة» (stable). ومن ثم فإن القانون السببي الرياضي لا يؤدي إلى قانون سببي بشأن الظواهر المرئية إلا إذا كانت حلول المعادلات الرياضية حلولاً «مستقرة».

ومن السهل أن نقدم أمثلة على الحالات A التي تؤدي إلى حلول غير مستقرة ولا تؤدي إلى قوانين سببية للظواهر المرئية. ولنعتبر الحافة العليا لأخدود سلسلة من الجبال، ولنفترض، توخياً للتبسيط، أن هذه الحافة خط مستقيم أفقي. يمكن إيجاد حل المعادلة الرياضية للحركة بالنسبة لحالة ابتدائية، وهذا الحل هو أن هناك نقطة كتلية تقع على الحافة وأن سرعتها الابتدائية c. ولنفترض أن القوة المؤثرة على الكتلة هي قوة الجاذبية الأرضية. ويمكن أن نصف حالة رياضية ابتدائية A_1 بأن ننسب إلى الكتلة سرعة في الاتجاه الأفقي، ويمكن أن تعطى الحالات الابتدائية A_1, A_2, A_3... بنفس السرعات c ولكن في اتجاهات مختلفة اختلافاً طفيفاً. الحالة A_1 تصبح B_1 بعد زمن قدره T، وسوف يكون موضع الكتلة عندئذ على حافة الأخدود وعلى مسافة cT من نقطة البداية. أما الحالة A_2 فتصبح B_2 وهي حالة تختلف كثيراً عن B_1. فبما أن السرعة ليست أفقية فسوف تهبط الكتلة من فوق الحافة وتصل إلى عمق $1/2gT^2$ أسفل الموقع B_1 على الحافة. وإذا كنا لا نعرف ما إذا كانت الحالة الابتدائية المرئية تناظر الحالة الرياضية A_1 أم تناظر الحالة الرياضية A_2 فإننا لا يمكن أن نتنبأ بما إذا كانت الكتلة سوف تكون على حافة الأخدود بعد الزمن T أم أنها سوف تكون على عمق $1/2gT^2$، حيث g هي عجلة الجاذبية. وبما أن الاختلاف الطفيف في اتجاه السرعة من الاتجاه الأفقي سوف تنشأ عنه حركة إلى أسفل، وليست لدينا رؤية نميز بها بين A_1، A_2 فإننا لا يمكننا أن نتنبأ من مشاهدتنا للكتلة عند الزمن t=0 بما إذا كان موقعها عند الزمن T سيكون عند حافة الأخدود (B_1) أم أنه سيكون على عمق $1/2gT^2$ تحت الحافة. ومن ثم فإن الحالة المستقبلية لا يمكن التنبؤ بها من مشاهدة الحالة الحاضرة.

ونترك الكتلة على امتداد الجبل تحركاً «غير مستقر». ومشاهدتنا للحالة الابتدائية لا يمكن أن تؤدي إلى التنبؤ بالمكان الذي سوف تتجه إليه الكتلة. فلدينا هنا حالة لا تمكننا فيها رؤية الحالة الابتدائية من التنبؤ بالحالة التي تليها؛ فليس هناك قانون سببي للوقائع المرئية. وينشأ مثل هذا الوضع أيضاً في الأجسام الغازية على سبيل المثال. فإذا افترضنا أن الجزئيات هي نقط كتلية تتنافر وتتجاذب مع بعضها البعض طبقاً لقوانين الحركة لنيوتن، فإن كل اصطدام مواجه (بين جزيئين يتحركان في اتجاهين متضادين) هو حركة غير مستقرة. وإذا استطعنا أن نشاهد حالة هذه الجزئيات فسوف نجد أن كثيراً جداً من هذه الحالات هي أقرب إلى الحركات غير المستقرة، وأن مستقبلها لا يمكن التنبؤ به، مثله في ذلك مثل الكتلة المتحركة على حافة الأخدود.

ويمكننا أن نستخلص من هذه الملاحظات أن هناك «ثغرات» عميقة وعريضة في قابلية تطبيق قوانين السببية على المنظومات الميكابيكية. وحتى إذا افترضنا صحة انطباق الميكانيكا النيوتونية انطباقاً دقيقاً على الظواهر الفيزيائية، فإننا لا نستطيع أن نستنتج أننا يمكننا أن نحدد الحالة المستقبلية تحديداً غير مبهم وذلك من مشاهدتنا لحالة ابتدائية اعتباطية. ويتبين من هذه الملاحظة أنه ليس من المعقول أن العقل الشمولي العلم الذي افترضه لابلاس يمكن أن ينوب عنه عقل بشري. ويبدو أن فكرة القضاء والقدر (الحتمية المسبقة) العام تقترن بوجود «قدرة فوق بشرية» أو «خارقة للطبيعة». ومن وجهة النظر العلمية، كما أشرنا سابقاً، فإن تحديد المستقبل سلفاً إما أن يكون مفهوماً حشوياً، وإما أنه يفترض وجود قوانين سببية تربط بين متغيرات قليلة العدد بواسطة معادلات بسيطة(٨).

٧ - حواشي الفصل [١١]

١ - برتراند راسل، في بحثه «On thc Notion of Cause» في كتابه «Misticism and logic» (نيويورك: و. و. نورتون وشركائه، ١٩٢٩).

٢ - هانز كيلسين (١٨٨١ -) محام هولندي، وفيلسوف في القانون يعيش الآن في الولايات المتحدة. وقد نشر «Society and Nature»، وهو تحقيق اجتماعي (شيكاغو: مطبوعات جامعة شيكاغو، ١٩٤٣).

٣ - راسل، المرجع السابق.

٤ - بيير سيمون لابلاس (١٧٤٩ - ١٨٢٧). ظهرت أول طبعة من نظريته في الاحتمالات «Théorie Analytique des Probabilités» عام ١٨١٢. وكان مؤلفه «Essai Philosophique» عام ١٨١٤ عرضاً أوسع انتشاراً لنفس الموضوع. وقد نشر في عام ١٧٩٦ «Exposition du Système du Monde»، وهو عرض شائع للميكانيكا السماوية والتاريخ الفلكي Œuvres Com plètes (باريس: جوثييه - فيللارز، ١٨٧٨ - ١٩١٢)

٥ - نابوليون الأول (١٧٧٩ - ١٨٢١). امبراطور فرنسا - نوقشت هذه القصة القانونية في «Naturalism and Agnosticism» لجيمس وارد، (لندن: مكميليان وشركاؤه، ١٩٠٦)، المحاضرة ١.

٦ - فيليب فرانك، «Causality and Experience» في مجلته «Annalen der Naturphilosophie»، المجلد ٦ (١٩٠٧) والترجمة الانجليزية في كتاب فيليب فرانك «Modern Science and its Philosophy»، (كمبريدج: مطبوعات جامعة هارفار، ١٩٥٠).

٧ - فيليب فرانك، «The Law of Causality and Its Limits»، (فيينا: يوليوس سبرنجر، ١٩٣٢).

٨ - المرجع نفسه.

[١٢]
مبدأ السببية

١ ـ مناقشة كيفية صياغة مبدأ السببية العام

السببية الهيومية والكانتية (نسبة إلى هيوم وكانت): .

حاولنا حتى الآن أن نصوغ مبدأ السببية مبتدئين من نظرية خاصة مثل التجاذب النيوتوني أو نظرية المجال، ولكننا يجب أن نذكر أن هذا المبدأ يجب أن يكون قابلاً للتطبيق ليس في الفيزياء فحسب، ولكن أيضاً في كل مجالات المعرفة، في البيولوجيا وعلم النفس، وفي العلوم الاجتماعية والعلوم الطبيعية. وعندئذ فقط يمكننا أن نتحدث عن «المبدأ العام للسببية». ومراراً وتكراراً أثير السؤال عما إذا كان مبدأ السببية صالحاً للتطبيق في علم الحياة (البيولوجيا) وعلم الاجتماع مثلما هو صالح في الفيزياء والكيمياء، غير أن السؤال نفسه لن يكون مفهوماً ما لم نعرف كيف نصوغ المبدأ على نحو يجعله صالحاً للتطبيق في كل هذه المجالات المختلفة. وإذا أخذنا المبادرة من الصيغة التي استخدمناها في الميكانيكا وفي نظرية المجال، فيمكننا بداية أن نقول: كل حالة A_0 للكون عند الزمن t_0 تحدد الحالة A_1 عند كل لحظة تالية t_1 تحديداً فريداً. ولقد عرفنا فعلاً الصعوبات التي ينطوي عليها اللفظ

«يحدد». ويمكننا تفسيره بطريقتين. فمن ناحية يمكننا أن نقول: في كل مرة يكون فيها الكون في الحالة A_0 سوف يصبح في الحالة A_1 بعد زمن قدره $(t_1 - t_0)$. ومن ناحية أخرى، يمكننا أن نقول: هناك قانون يمكننا من حساب الحالة A_1 عند الزمن t_1 من كل حالة A_0 عند الزمن t_0، إذا كانت $t_1>t_0$.

وقد عرفنا فعلاً أنه حتى في الحالات الخاصة التي ناقشناها في الأقسام السابقة، ليس من السهل أن نميز بين تعريف القانون وتعريف عودة الحالة. وتصبح هذه الصعوبات بالطبع أكثر خطورة عندما نقترب من الحالة العامة حيث تختلف القوانين عن تلك التي نعرفها في الميكانيكا أو في فيزياء المجال. وتتزايد الصعوبة عند تعريف «عودة نفس الحالة» دون استخدام مفهوم السببية في التعريف. لكننا إذا فعلنا ذلك فسوف يصبح مبدأ السببية حشواً. ويمكن أن نعرف «الحالات المتساوية» على أنها تلك الحالات A_0 التي «تكون لها نفس النتائج»، A_1 ومن الواضح أنه ينتج عن ذلك أنه إذا وقعت الحالة A_0 فإن حالاتها التالية A_1 تقع أيضاً. وهذا النص ليس إلا تعريفاً لعبارة «حالات متساوية» ولا يزودنا بأنباء عن الكون الفيزيائي(١).

وإذا افترضنا أننا نستطيع أن نحل هذه المشكلة ونضع تعريفاً «للحالات المتساوية» لا يحتاج إلى استخدام مفهوم السببية، فسوف تبقى صعوبة أخرى ربما تكون أكثر خطورة. وتنشأ هذه الصعوبة الكبرى من أن متغيرات الحالة الموجودة في قوانين السببية المستخدمة في العلوم لا يمكن ربطها ربطاً فريداً بالمشاهدات الواقعية للناس؛ غير أن قوانين السببية بدون هذا الربط سوف تشتمل فقط على مقادير رمزية؛ سوف تكون تعريفات لهذه العبارات. وقد عرفنا مثلاً في (الفصل ٣) أن بديهيات الهندسة هي تعريفات لعبارات مثل «الخط المستقيم» و«التقاطع»... الخ، التي توجد ببديهيات أوقليدس، أو على الأصح، بهندسة هلبرت. والرجل غير المتخصص في العلم، بل رجل العلم في كثير من الحالات، قد يميل إلى إغفال التمييز بين الرموز والمقادير المرئية التي ترتبط بعضها ببعض بواسطة «تعريفات تشغيلية» أو «بتفسيرات فيزيائية» أو في تعبير أعم «بقواعد علم دلالات الألفاظ».

وقد وجدت الصعوبة في هذا الربط طالما وجدت العلوم الفيزيائية. وتمتد الجذور النهائية لهذه الصعوبة إلى أن الأرقام الناشئة عن التجارب الفيزيائية والمشاهدات هي في الواقع متوسط عديد من المشاهدات الواقعية، بينما نجد الأرقام التي تتخذها الرموز عبارة عن كميات رياضية محددة. وقد تكون مثلاً أعداداً غير جذرية لا يمكن أن تكون نتيجة للمشاهدة. وهذه الصعوبة قائمة في ميكانيكا الموائع، حيث لا يمكن مشاهدة «سرعة» نقطة كتلية، بالرغم من أن هذه السرعات موجودة في معادلات الهيدروميكانيكا. وبالمثل لا يمكن مشاهدة شدة المجال الكهربائي داخل الالكترون. وإذا توخينا الدقة في الكلام، يجب أن نقول إنه حتى في صياغة القوانين النيوتونية نجد أن «سرعة النقطة الكتلية هي مجرد رمز. وربطها بالمشاهدة يجب أن نذكر أن «السرعة عند لحظة معينة» هي المشتقة الأولى لدالة الزمن، وهي تحسب على أنها نهاية عدد كبير جداً من المشاهدات.

وإذا حاولنا صياغة مبدأ السببية كنص بشأن الوقائع المرئية فمن الواضح أننا سنواجه مهمة معقدة وعسيرة. وقد اتضح بما فيه الكفاية حتى الآن أن صيغاً مثل «الحاضر يحدد المستقبل» أو أن «الحاضر محدد سلفاً» ليست من الصيغ التي يمكن تدقيقها بواسطة التجربة أو المشاهدة. وفي الحالات الخاصة حيث افترضنا أن «حالات» الكون يمكن وصفها إما بواسطة مواضع الجسيمات وسرعاتها، أو بواسطة مقادير المجالات، فقد أدخلنا الطريقتين اللتين يمكن بهما صياغة المبدأ العام للسببية دون انزلاق إلى مستوى الحشو. ويمكن أن يتطلب الأمر إما أن الحالات المتساوية تعقبها حالات متساوية، أو أن نفترض أن كل الظواهر تحدث طبقاً لقانون. ولكي نحصل على دلالة موجزة لهذين النمطين من الصياغة فسوف نتبع اقتراح مارجينو[٢]. وهو يأخذ البادرة عن الطريقة التي صاغ بها «الأبوان المؤسسان» للفلسفة الحديثة مبدأ السببية في القرن الثامن عشر. صاغ دافيد هيوم السببية كتكرار للتعاقبات (التتابعات): إذا وقعت A فإن التعاقب AB يقع. ومن ناحية أخرى عرف إيمانويل كانتْ السببية على أنها وجود قوانين تتعاقب الحالات طبقاً لها. وعلى هذا فقد ميز مارجينو بين السببية الهيومية والسببية الكانتية. كتب هيوم[٣]:

إن الاستخدام المفيد المباشر الوحيد لكل العلوم هو أن تعلمنا كيف ننظم أحداث المستقبل بواسطة أسبابها. . . . ونحن نعلم من خبرتنا أن الأشياء المتماثلة تنضم دائماً إلى مثيلاتها. ولذلك يمكننا أن نعرف «السبب» بأنه شيء يعقبه شيء آخر. بحيث أن كل الأشياء المماثلة للشيء الأول تعقبها أشياء مماثلة للثاني. أو، بعبارة أخرى، إذا لم يكن الأول قد وجد فإن الشيء الثاني لا يمكن أن يكون قد وجد أبداً. وظهور السبب ينقل الذهن دائماً إلى فكرة النتيجة، وهذا أمر خبرناه أيضاً. ولذلك وطبقاً لهذه الخبرة، يمكننا أن نضع تعريفاً آخر للسبب، فنسميه بالشيء الذي يعقبه شيء آخر، ويقترن ظهوره دائماً بأن ينصرف الذهن إلى هذا الشيء الآخر.

وطبقاً للمعنى الذي ذهب إليه هيوم يعتبر مبدأ السببية تدبيراً من أجل أغراض عملية. وهو يتعامل مع الوقائع التي يمكن رؤيتها رؤية مباشرة. وينبئنا مبدأ السببية بأن هناك دائماً سبباً مناسباً يمكننا أن نحصل به على النتيجة المنشودة.

وإذا أدخلنا نظم القيم A، B لمتغيرات الحالة بدلاً من تعاقبات الحالات المرئية، فإن من الأمور التي نعتبرها شيئاً مسلماً به هو أن هناك تعريفاً تشغيلياً بسيطاً يعطي قيم متغيرات الحالة للوقائع المرئية. ولا يمكننا أن نفهم الصيغة الهيومية للسببية (معاودة التعاقبات AB) فهماً جيداً إلا إذا كنا نعني بالحالة A مجموعة من المشاهدات التي تمت عند لحظة معينة t_0 وبالحالة B مجموعة من المشاهدات التي تمت عند الزمن t. وليس هناك في مفهوم الحالة A ما يستند إلى مشاهدات تمت بعد اللحظة t_0 أو قبلها. ومع ذلك، وكما رأينا تكراراً، فإن قوانين السببية المستخدمة مثلاً في الفيزياء أو في العلوم الأخرى تعرف الحالة A على نحو يتيح استخدام المشاهدات التي تتم في فترة زمنية معينة. وعلى سبيل المثال، من الواضح أن التعريف التشغيلي «للسرعة عند t_0» يتطلب مشاهدات المواقع خلال فترة من الزمن.

ولتوخي الدقة نقول إن الحالة A لا يمكن تحديدها إلا إذا كان مفهوماً أن «جسماً في الحالة A» يتميز عن الأجسام الأخرى بأنه يتعامل مع الأجهزة التي نستخدمها في القياس. ولذلك يشير ايمانويل كَانتْ إلى أن قانون السببية يتخلل ويلعب دوراً في تحديد الحالة A أو الحالة B للنظام. وبينما يبرز هيوم وجود تعاقبات

للحالات AB المحددة اعتباطياً، فإن كَانْت يركز على التأكيد على وجود قواعد عامة؛ فيمكننا أن نختار تحديد الحالتين A أو B بحيث تعقب إحداهما الأخرى طبقاً لهذه القواعد العامة. ونقتبس عن كَانْت الفقرة المميزة الآتية[٤]:

لا يمكننا أن ندرس طبيعة الأشياء بدون فحص الظروف والقوانين العامة (وإن كانت ذاتية) التي لا تتيسر بدونها، أو بالتجربة، مثل هذه المعرفة... والحكم بالمشاهدة لا يرقى أبداً إلى مرتبة التجربة، بدون القانون «كلما شوهد حدث فإنه يسند إلى حدث سابق، يعقبه طبقاً لقاعدة عامة.

وتتسم هذه الصياغة بمسحة ميتافيزيائية. ومع ذلك، سوف نفهم هنا من «السببية الكانتية»، كما يدركها مارجينو، أنها تعني مفهوماً علمياً، مثلها في ذلك مثل السببية الهيومية. ويركز الأخير على أن الحالات A تحددها المشاهدات وقانون السببية المستنبط منها بالاستنتاج الاستقرائي، بينما تشد السببية الكانتية انتباهنا إلى أننا نحدد الحالات A على نحو يتيح وضع قوانين عامة للتعاقبات.

٢ ـ السببية كمعاودة لوقوع التعاقبات

عندما نناقش أساس خطة مفاهيمية تتحدد فيها إحدى حالات الكون بواسطة عدد محدد من متغيرات الحالة، فإن معنى النص بأن «الحالة A تعود» يكون معنى واضحاً. أما إذا بدأنا بالكون التجريبي أو بجزء منه، فسوف يكون من الصعب توضيح معنى هذا النص. ومن الواضح أن ما نعنيه لا يمكن أن يكون عودة نفس الصفات المرئية. لأننا إذا اعتمدنا في هذا التحديد على القيم الظاهرية فإن عودة الحالة A يمكن أن يقصد بها قطعة حديد مغنطيسية أو قطعة حديد عادية لأن القطعتين قد تبدوان متشابهتين. وعندئذ لن تكون الحالة التالية B هي نفس الشيء بالنسبة إلى القطعتين. وإذا أردنا الدقة في تحديد معنى «عودة الحالة A» فيجب أن نتوخى الدقة في وصف هذه الحالة. وإذا قبلنا الصيغة: «إذا عاد الكون بأجمعه إلى الحالة A، فإن حالته التالية B تعود أيضاً» فلن يكون لهذا النص معنى واقعي إلا إذا كانت مسيرة الكون تتألف من عدد غير محدود (لا نهائي) من الدورات، تعاود فيها نفس الأحداث وقوعها حتى الأبد. وإذا لم يكن الأمر كذلك، تصبح الصيغة حشواً خالياً من أي مضمون واقعي.

وإذا لم تكن هناك عودة لنفس الحالة A، فإن مبدأ السببية ـ «إذا وقعت A فإن B تقع أيضاً» ـ يكون مبدأ صالحاً للتطبيق مهما حدث في الكون. وإذا استبعدنا وقوع الحالة A للكون، فيجب أن نتقيد «بالدورات غير الكاملة». ولنعتبر مثلاً جسماً يتحرك من حالة السكون هابطاً نحو الأرض: عندما تحدث هذه الظاهرة لا تكون لدينا دورة كاملة. فالموقع والسرعة الابتدائيان بالنسبة للأرض يعودان. ولكن الموقع بالنسبة للشمس، أو حتى بالنسبة للبيئة على سطح الأرض يتغير في كل مرة من مرات العودة. وإذا أهملنا البيئة فيمكننا أن نقول إن الحالة A تعود وأنها ستعقبها دائماً نفس الحالة، وذلك إذا كنا نعني بهذه الحالة موضع الجسم وسرعته بالنسبة إلى الأرض. بل إنه في حالة تمسكنا بمزيد من الدقة نجد أن هذه العودة ليست صحيحة تماماً، حيث إن الجسم يقع تحت تأثير كل الأجسام المحيطة به. وتعتمد قابلية تطبيق مبدأ السببية (معاودة وقوع التعاقبات) على أنه يمكن تطبيقه على الدورات غير الكاملة. ويمكننا أن نقول إن مبدأ السببية يدعى عملياً بأنه يمكن وصف كل الظواهر في الكون بتحليلها إلى دورات تقريبية أو غير كاملة.

وإذا أردنا أن نفهم معنى السببية في العلوم الواقعية، يجب أن نتذكر أننا يمكن أن نعني «بعودة الحالة» أشياء شديدة الاختلاف إذا حاولنا أن نجري تحليلاً إلى دورات تقريبية للأوضاع الماثلة في الطبيعة. ويمكننا أن نبين هذه الاختلافات من خلال مثال معروف للناس جميعاً: ونعني به الحالة الفيزيائية للجو والتي نسميها «الطقس». ويمكننا أن نتحدث عن عودة الوضع الطقسي A إذا عادت أيضاً نفس درجة الحرارة، والضغط الجوي، واتجاه الريح وشدته، وكثافة الشحنات الكهربائية، وهكذا. وإذا عرفنا «عودة A» بأنها عودة الوضع الجوي على النحو الذي وصفناه آنفاً، فإن قانون السببية سوف يتيح لنا إقامة نظام للتنبؤ الجوي يجزم بأنه: إذا كان الوضع الجوي A يعقبه الوضع B، فإنه في كل مرة يقع الوضع A سوف يكون معقوباً بالوضع B. مثل هذه الطريقة في التنبؤ الجوي تتميز بأنها تستخدم كميات قريبة جداً من الوقائع المنظورة ومن ثم يكون تداولها سهلاً. وقد استخدمت هذه الطريقة في التنبؤ الجوي على مر الأجيال في علم الظواهر الجوية العملية، بل وفي «تقاويم المزارعين» الشائعة. إنها تفترض سلفاً وجود دورات في أوضاع الطقس. والإيمان بهذه الدورات ينبني أحياناً على خرافة، كأن يعود الوضع

الطقسي مثلاً كل مائة عام. ويجري وصف الطقس عادة بدرجة حرارة الجو وضغطه.

والذي نعنيه هنا «بدرجة الحرارة» و«الضغط» هما القيمتان المسجلتان في جداول الظواهر الجوية. إنهما يحددان «حالة الظواهر الجوية» للجو. و«درجة الحرارة» و«الضغط» في هذه الجداول هما متوسط قيم هذين المقدارين في منطقة كبيرة، مثل درجة الحرارة في بوسطن أو الضغط في ورشستر بماساشوسيت. ومن المؤكد أن هذا وصف تقريبي للطقس؛ ففي الواقع أن درجة الحرارة والضغط يتغيران داخل مناطق أصغر كثيراً من هذه المناطق. ويمكن على سبيل المثال أن نعني «بدرجة الحرارة» أو «بالضغط» متوسط القيمة في البوصة المكعبة أو حتى في حجم أصغر من ذلك. وهذه القيم هي متغيرات الحالة التي تصف حالة المائع (مثل الهواء) في المعادلات التفاضلية في الديناميكا الهوائية الايروديناميكا. ويمكننا عندئذ أن نعتبر الحالة A للجو عند اللحظة $t=t_0$ على أنها الظروف الابتدائية اللازمة لحل هذه المعادلات التفاضلية. وفي هذه الحالة يشتمل وصف الحالة A لإحدى المناطق على عدد كبير جداً من القيم ويكون شديد التعقيد. وإذا افترضنا أن المعادلات التفاضلية يمكن تكاملها لظروف ابتدائية اعتباطية فإننا نستطيع، من الناحية الرياضية، أن نحسب قيم درجة الحرارة والضغط وغيرها عند أي لحظة t إذا كنا نعرف قيمها عند اللحظة $t=t_0$. ويمكن أن نثق بالتنبؤات التي تتم على هذا النحو قدر وثوقنا بمعادلات الميكانيكا الهوائية، غير أن الحلول تكون على درجة من التعقيد تجعلها عديمة الجدوى من الناحية العملية.

غير أن هناك أوضاعاً نجد فيها أنه حتى «الحالات الايروميكانيكية» للجو لا تقبع داخل قوانين السببية على نحو دقيق. ويجب في هذه الأوضاع أن ننص على مواضع وسرعات الجزئيات المفردة كمتغيرات للحالة. ويزداد عدد المتغيرات عندئذ إلى ملايين الملايين. وسوف تكون التنبؤات موضعاً للثقة مثل الميكانيكا النيوتونية للجسيمات، غير أنها تكون عديمة الفائدة من الناحية العملية. وإذا شئنا مزيداً من التمحيص «للحالة الجزيئية»، فيجب أن نتعمق إلى أجزاء ذرات الجزئيات. وفي ضوء ما عرفناه في (الفصل ٨) (الفيزياء الذرية)، لم يعد من

الممكن أن نستخدم مواضع الأشياء الذرية وسرعاتها لمتغيرات حالة في هذا المجال، ولا يمكن وضع قانون سببي بدلالة مقاديرها. وعلينا أن نستخدم سعة أمواج دي برولوي لمتغيرات للحالة. وترتبط هذه السعات بالظواهر المرئية على نحو إحصائي معقد.

وعندما نعمم هذه الملاحظات يمكننا أن نقول إن معنى «معاودة وقوع التعاقبات» يعتمد على نحو الحالة المفترض حدوثها. وفي المثال الذي أوردناه يمكن للسببية أن تعني أشياء مختلفة اختلافاً كبيراً. ويتوقف ذلك على ما إذا كنا سنحددها بحالات ظواهر جوية، أو ايروديناميكية، أو جزيئية أو بحالات أجزاء الذرة.

أما هل ينطبق مبدأ السببية على علم التاريخ وعلم الاجتماع كما ينطبق على الفيزياء والكيمياء، فقد كان موضوعاً أثير حوله كثير من النقاش. وقيل إن التاريخ يتناول الأحداث التي تقع مرة واحدة، أما الفيزياء فتعالج الأحداث التي يتواتر وقوعها. وقد أورد الفيلسوف الألماني ريكارت[٥] هذا الجدل في كتابه الشهير. وقد أصبح أشبه بالشعار في المعركة التي يخوضها ممثلو العلوم الانسانية ضد امتداد الطريقة العلمية وتوغلها في مجال تخصصهم.

وإذا استبعدنا إمكانية تحرك الكون كله في دورات أبدية، مكرراً حالاته المرة بعد الأخرى، فإنه يتضح لنا أن العملية الكونية قد حدثت مرة واحدة فقط. وإذا اعتبرنا أن السبب هو معاودة وقوع التعاقبات، فسوف يستوي الأمر إذا قلنا إن العملية الكونية ككل تخضع لمبدأ السببية أو لا تخضع له. ومهما كان رأينا عن العلاقة بين الظواهر الفيزيائية والظواهر البيولوجية، فهناك أمر مؤكد: إن دورات الوقائع الفزيائية التي نفسرها على أنها أمثلة للقوانين السيبية هي دورات صغيرة في نطاق العملية الكونية بأجمعها، والتي قد لا تمثل دورة إذا نظرنا إليها ككل. وحركة الأجسام الثقيلة نحو الأرض تعتبر دورة يتكرر فيها وقوع نفس مجموعة الأحداث. ونحن نعلم بالطبع أن نفس الحدث تماماً لا يتكرر. فنقطة البداية تختلف في الزمان والمكان، كما يختلف حجم الجسم الساقط، والفصل من فصول السنة، والبيئة الخ. وعلى أية حال، فإن الصفات المميزة ذات العلاقة تكرر نفسها. وإذا عرفنا كيف يتعاقب كل من الموضع والسرعات في جزء واحد من الدورة فسوف يمكننا أن

نستنتج كيف تتعاقب في جزء آخر. وفي واقع الأمر أن كل قوانين السببية يتم إيجادها بتشريح العملية الكونية إلى دورات غير كاملة، أو بعبارة أخرى باكتشاف متغيرات الحالة التي يمكن إغفالها لكي نرى عدداً كبيراً من الدورات غير الكاملة في العملية الكونية.

وإذا أدركنا أن مفهوم القانون السببي في العلوم الفيزيائية مبني بأكمله على وجود مثل هذه «الدورات الفرعية» غير الكاملة في العملية الكونية. فسوف يكون من السهل علينا أن نرى كيف نبحث عن القوانين السببية بين الأحداث التاريخية والاجتماعية. ومن المؤكد أنه ليس هناك تكرار كامل للأحداث التاريخية، غير أنه ليس هناك أيضاً أي تكرار كامل للوقائع الفيزيائية. وتكتشف قوانين السببية في الفيزياء بأن نكتشف ما هي متغيرات الحالة التي يمكننا إغفالها في تحديد «التكرار» (المعاودة). فكلما كثر عدد المتغيرات التي يمكن إغفالها وكلما قل عدد المتغيرات التي نبقيها، كلما تزايد عدد مرات المعاودة واقتربنا من قوانين السببية للفيزياء، حيث تتمثل النقطة الجوهرية في أن تتحدد معاودة الحالات بعدد صغير من المتغيرات كما ذكرنا من قبل.

أما اختصار عدد المتغيرات فيمكن أن يتحقق بطرق منوعة. ومن السهل أن نصف طريقتين نموذجيتين باستخدام مثال التنبؤ بالطقس. فإذا استخدمنا حالات الظواهر الجوية، فإن من الممكن وصف مناطق شاسعة بواسطة درجة حرارة واحدة وضغط واحد. ونكون هنا قد استخدمنا المتوسط لكي يكون عدد المتغيرات صغيراً، ومن ناحية أخرى، إذا استخدمنا الوصف «الجزيئي» للحالة فسوف يكون لدينا عدد هائل من المتغيرات إذا تضمن الوصف موضع كل جزيء وسرعته. ومع ذلك، إذا أغفلنا تعيين مكان الجزيئات وزمانها، فإن كل جزيء سوف يوصف بعدد صغير جداً من المتغيرات، وهي الموضع والسرعة فقط في أبسط الحالات. وعندئذ تكون قوانين السببية للجزيء المفرد بسيطة جداً. وفي حالة وصف الحالة بالظواهر الجوية يمكننا الحصول على قوانين السببية كما هي مستخدمة فعلاً في إذاعة النشرة الجوية. ويمكن أن نسوق المثال التالي: إذا كان فارق الضغط الجوي في شهر نوفمبر صغيراً بين نقاط معينة فوق قارة أمريكا الشمالية فسوف يجيء شتاء

قارس البرودة. ومثل هذه القوانين السببية تكون عملية جداً في الإذاعة على المدى البعيد إلا أنها لا تكون على قدر كبير من الدقة. ومن ناحية أخرى، إذا تأملنا في القوانين التي تتحدد بحركة جزيء واحد، وأهمها قوانين الحركة لنيوتن، نجدها صالحة للتطبيق الدقيق إذا توافرت الظروف لتطبيقها. وهي تطبق كثيراً، على أية حال، وغالباً ما تكون غير ملائمة.

ويمكننا أيضاً أن نقول: إن المعاودات بدلالة متغيرات الظواهز الجوية مفيدة في نطاق محدود جداً من الظواهر، ونعني بها أوضاع الطقس. فبينما يفيد الوصف الايروديناميكا في التنبؤ بكل الظواهر التي تجري في الأجسام الغازية، نجد أن الوصف الجزيئي يفيد في تناول كل أنواع الأجسام المادية. وبينما يتسع نطاق الظواهر التي يمكن تناولها، نجد أن الشقة بين النظرية والظواهر المرئية تتسع أيضاً. فالتعريفات التشغيلية يتعاظم دورها. ولكل هذه الأسباب لا تكون الصيغة «معاودة وقوع التعاقبات» صيغة كاملة إذا وصفنا تعريفاً محدداً لما نعنيه بكلمة «معاودة». وفي المثال الذي قدمناه قد لا تعني هذه الكلمة معاودة حالات الظواهر الجوية، أو الحالات الايروديناميكية أو الحالات الجزيئية، أو حتى حالات أجزاء الذرة.

٣ . السببية كوجود للقوانين

علمنا حتى الآن أن الصيغة الهيومية للسببية كمعاودة لوقوع المتعاقبات تبوء بالفشل إذا حاولنا أن نجعلها محددة تحديداً محكماً. وللوهلة الأولى، يبدو أن هذا أمر شديد الوضوح، بل إنه يتفق والفطرة السليمة. فإذا كنا نعني بالحالتين A ، B مجموعتين من المشاهدات الواقعية، فإن ما نعنيه «بالمعاودة» يكون واضحاً، إلا أنه إذا كان هناك استنتاج واحد يمكن أن نستخلصه من كل هذه الاعتبارات، فهو بالتأكيد أن قانون السببية لا يسري تطبيقه إذا كنا نعني بالحالتين A ، B مجموعتين من المشاهدات الواقعية. وإذا قارنا بين قطعة حديد ممغنطة وأخرى عادية فإن كلاً منها لا تبدو مختلفة عن الأخرى عندما نشاهدهما، بالمعنى المعتاد لكلمة مشاهدة. وبالطبع نقول إن التركيب الجزيئي مختلف ـ فالمجاور المغنطيسية للجزيئات مرتبة في إحدى الحالتين وغير مرتبة في الحالة الأخرى. ويمكننا إعداد تجربة نجري بها هذا

الترتيب أو نتلفه، كأن نسخن الحديد في مجال مغنطيسي. وبذلك نرى أنه إذا ترتبته نتيجة معينة على إجراء مجموعة معينة من التجارب على قطعة الحديد، فإن قطعة الحديد سوف يكون لها أيضاً تأثير المغنطيسي. فإذا نشأت مجموعة من النتائج من مجموعة من التجارب فإننا ننسب إلى قطعة الحديد أحد متغيرات الحالة وهو ما نسميه «بالتمغنط». ويرتبط هذا المتغير بمتغيرات أخرى مثل الكثافة، ودرجة الحرارة، والضغـط، لكي تتحدد الحالة A لقطعة الحديد بواسطة هذه المتغيرات مجتمعة. ولهذا فإن «المعاودة» الواردة في صيغة السببية تعني «المعاودة الآنية لقيم هذه المتغيرات». وهذا النص يختلف كثيراً عن الصيغة الهيومية الأصلية القائلة بأن مجموعات الظواهر المرئية («الأشياء» بتعبير هيوم) تعقبها نفس الظواهر كلما حدثت الظواهر السابقة. وتنص صيغتنا الجديدة على أنه إذا أجرينا أنواعاً كثيرة من التجارب على نفس المجموعة من الأجسام، فإننا نستطيع أن ننسب إليها متغيرات u, v, w على نحو يتيح إيجاد قانون نحدد بواسطته قيم هذه المتغيرات التي تعقب مجموعة معروفة من القيم.

وعلى نحو ما تذكرنا إعادة صياغتنا لهيوم بالصيغة التي وضعها كَانتْ (القسم ١) والتي تقضي بأنه لا يمكن تحديد حالة الجسم إلا إذا شاهدنا نتائج التجارب التي أجريناها على هذا الجسم. وقد تعرض كَانتْ لهذا الوضع بأسلوبه في الحديث بأن نص على أننا يجب أن نعتبر مبدأ السببية أمراً مسلماً به إذا شئنا أن يكون من حقنا أن نقول إن تجربة معينة تكشف لنا عن صفة للجسم؛ ويجب أن نقول إن نتيجة تجربتنا هي «نتيجة» (أثر) لهذه الصفة. ومع ذلك، فالأحرى بنا أن نقول (بالأسلوب المستخدم اليوم في العلم) إننا نعزو إلى الجسم تلك الصفات بحيث يمكن التعبير عن نتائج تجربتنا على الجسم على شكل قوانين سببية. فيمكننا مثلاً أن ندخل متغير الحالة أو صفة (التمغنط) على نحو معين بحيث نستطيع أن نصف تجارب في مجال المغنطيسية بنصوص مثل: إذا كان الجسم ذا تمغنط معين، ودرجة حرارة معينة، الخ، فإن قوانين المغنطيسية الحرارية تبين لنا كيف يتفاعل هذا الجسم مع الأجسام الأخرى تحت ظروف معروفة. وعلى هذا يمكننـا أن نعبر عن القانون العام للسببية على النحو التالي: يمكن أن نعزو إلى الأجسام متغيرات حالة على نحو معين بحيث يكفي عدد صغير من هذه المتغيرات لأن يتيح لنا أن نعبر عن

نتائج التجارب التي نجريها على هذه الأجسام، على شكل قوانين سببية.

وإذا بدأنا من هذا المفهوم للسببية، فعلينا أن نتذكر أن «الصفات» أو متغيرات الحالة التي نعزوها إلى الأجسام قد تكون بعيدة كل البعد عن الصفات المرئية، إذا استخدمنا كلمة «مرئية» بالمعنى الشائع في أحاديثنا المعتادة أو بالإسناد إلى قراءات المؤشر في الأجهزة الفيزيائية. ولندرس صفة بسيطة جداً مثل «طول قضيب حديدي». يعبر هذا الطول عند صياغة القوانين برمز هو الحرف (L). فنقول مثلاً إن الرافعة تكون في حالة اتزان عندما تكون $L_1W_1=L_2W_2$، حيث W_1، W_2 الثقلان المعلقان بالرافعة على بعد L_1، L_2 من نقطة الارتكاز؛ فماذا يعني ذلك بدلالة الوقائع المرئية؟ تعبر L_1 عن عدد «حقيقي» قد يكون جذرياً أو غير جذري. ويزودنا كل عدد بعدد محدد من الأرقام الأولية. وهذه لا تكون أبداً غير جذرية. وفي أحسن الأحوال، تبين لنا مشاهدة واحدة أن L_1 تقع بين عددين مثل ١,٠٠١، ١,٠٠٢. ولكي نجد العدد L_1 الذي سنعوض به في القانون الفيزيائي، فإننا نجري عدداً كبيراً من القياسات ثم نحسب المتوسط. وهذا المتوسط هو نتيجة لإحدى المعالجات وليس نتيجة قياس مباشر. ونعوض بهذه النتيجة في القانون $L_1W_1=L_2W_2$، ثم ندقق صلاحية التطبيق بأن نختبر ما إذا كان L_1W_1، L_2W_2 متساويين أم لا في عدد كبير من المشاهدات. وغالباً ما نقول إن طول القضيب «قيمته» L، غير أننا مهما عبرنا عن هذه الواقعة يجب ألا ننسى أن (L) هي نتيجة عملية حسابية استخدم فيها عدد كبير من المشاهدات. ومن ثم فإن الرموز التي يربط بينها قانون السببية لا تمثل مشاهدات مفردة. والعملية التي تحدد «المعنى التشغيلي» لرمز مثل L_1 أو L_2 تشتمل على عدد كبير من قراءات المؤشر تربط بينها عمليات حساب رياضية مثل عمليات استخراج المتوسطات. وإذا أردنا أن نستخدم عبارات مثل «الطول قيمته L» يجب أن نتحقق من أن خطوات تعيين هذا الطول خطوات واردة على النحو المطلوب.

ويعتبر قلة من الكتاب في مجال العلم والفلسفة أن هناك تجاوزاً في تسمية قانون الرافعة ($L_1W_1=L_2W_2$) قانوناً سببياً. فمثل هذا القانون يرسي في كل حالة

تعاقباً زمنياً للأحداث. وعلى أية حال، فإن من السهل أن نتبين أن القانون $L_1W_1=L_2W_2$ يرسي في الواقع تعاقباً زمنياً. فهذا القانون يعني أنه: إذا صح للرافعة عند الزمن $t=t_0$ أن $L_1W_1-L_2W_2=0$ وأن السرعة الزاوية حول نقطة ارتكاز الرافعة تساوي صفراً، فإن الرافعة ستكون في نفس الوضع عند أي زمن $t=t_1$ في المستقبل. فالعلاقة $L_1W_1=L_2W_2$ هي تنبؤ بالمستقبل تحت ظروف ابتدائية خاصة. ويمكن أن نرى بسهولة أن القانون $L_1W_1=L_2W_2$ هو حالة خاصة من «قانون سببي» أكثر تعميماً يحدد دوران الرافعة حول نقطة ارتكازها. ولنرمز للزاوية المحصورة بين اتجاه قضيب الرافعة واتجاه معين بالرمز $\varnothing$، وللسرعة الزاوية للرافعة بالرمز $\propto$، ولعزم القصور الذاتي للرافعة حول نقطة الارتكاز بالرمز I، ولعزم القوة الخارجية حول نقطة الارتكاز بالرمز M. هناك تماثل بين معادلة الحركة للدوران حول نقطة الارتكاز وبين قانون نيوتن للحركة نقطة كتلية، كتلتها m تتحرك تحت تأثير قوة $ma=F$:F، حيث a هي العجلة الخطية. وفي حالة الحركة الدورانية نضع عزم القصور الذاتي بدلاً من الكتلة، ونضع العجلة الزاوية بدلاً من العجلة الخطية، ونضع عزم القوة بدلاً من القوة. وبذلك نحصل على $I\propto=M$. فإذا طبقنا هذه المعادلة على حالة الرافعة فإن لدينا $M=L_1W_1-L_2W_2$ وتصبح معادلة الحركة:

$$I\propto=L_1W_1-L_2-W_2$$

وإذا طبقنا هذه المعادلة على الحالة التي تكون فيها الرافعة ساكنة، فإن $\propto=0$، $L_1W_1-L_2W_2=0$، وهو قانون اتزان الرافعة.

ونرى من هذه الاعتبارات أن قوانين الاتزان هي حالات خاصة من قوانين السببية. إنها تنص على الظروف التي يمكن أن نتنبأ أنه لن تكون عندها في المستقبل حركة (أو، على الأقل، لن تكون هناك حركة متسارعة). بل إن قوانين الهندسة نفسها يمكن تفسيرها على هذا النحو. فإذا افترضنا صلاحية تطبيق البديهيات الأوقليدية(٦) بالنسبة للمثلثات المصنوعة من مادة معينة، ووجدنا بالقياس أن مجموع زوايا المثلث يساوي زاويتين قائمتين، فإننا نستطيع أن نتنبأ بأن هذه المثلثات سوف تبقى في حالة سكون إذا كانت السرعات الابتدائية صفراً. وهذا القانون الهندسي لم يرد له ذكر في الميكانيكا لأنه من الأمور المسلم بها. إلا أننا،

توخياً للدقة، نقول إن القوانين الهندسية وثيقة الصلة بأي تنبؤ بالحركة المستقبلية. فإذا لم يكن مجموع الزوايا مساوياً لزاويتين قائمتين فإن التوترات الداخلية يجب أن توضع في الاعتبار عند التنبؤ بالحركة المستقبلية للمثلث.

ويفرق كثير من المؤلفين بين القوانين التي تحتوي على الزمن والقوانين التي تربط بين الحالات عند نفس اللحظة مثل قوانين الهندسة، إلا أن المفارقة ليست أساسية. فقد عرفنا أن كل قوانين الاتزان هي حالات خاصة من قوانين سببية أكثر تعميماً. ويصبح هذا أكثر وضوحاً إذا أخذنا في الحسبان نظرية النسبية (الفصل ٥). فطبقاً لهذه النظرية، فإن نظام الإسناد الذي نختاره سوف يتوقف عليه ما إذا كان حدثان أو أكثر سوف تقع في نفس اللحظة أم في لحظات مختلفة. فقانون القصور الذاتي هو قانون سببي بقدر ما نعتبر القانون الثاني لنيوتن قانوناً سببياً (وهو القانون الذي يقضي بأن القوة تترتب عليها زيادة في الزخم).

٤ ـ القانون السببي والقانون الإحصائي

إذا أطلقنا رصاصة بسرعة معينة في اتجاه معين فإننا نستطيع أن نحدد من قوانين الحركة لنيوتن أية نقطة في الهدف سوف تصيبها الرصاصة. وإذا القينا بقطعة نقود ولاحظنا اصطدامها بسطح منضدة فإننا لا نستطيع أن نتنبأ أيهما سوف يستقر إلى أعلى، «الرأس أم الذيل» (الرسم أم الكتابة) على أننا إذا القينا بقطعة النقود ألف مرة فإن الرأس سوف يظهر في حوالى نصف هذه المرات. ونحن في الحالة الأولى نعبر عن «قانون سببي» أما في الحالة الثانية فإننا نعبر عن «قانون إحصائي». ولنحاول أن نحدد الفرق بين هذين النمطين من القوانين تحديداً دقيقاً بقدر المستطاع. وكما هو الحال في مناقشة الهندسة، والميكانيكا، والفيزياء الذرية، الخ، علينا أن نميز تمييزاً قاطعاً بين وصف ما هو مرئي أو قابل للرؤية في الواقع، وبين النموذج الرمزي الذي يستخدمه رجل العلم في وصف الظواهر. وعلى سبيل المثال، يجب أن نميز بين المسافة D بين نقطتين والتي تخضع لبديهيات الهندسة الأوقليدية، وبين العملية الفيزيائية التي نقيس بها هذه المسافة والتي تتيح لنا أن نتحقق مما إذا كانت النقطتان تفصل بينهما فعلاً مسافة محددة تحديداً دقيقاً. ومع وضعنا لهذا الأمر موضع الاعتبار، سوف نحلل الفارق بين القانون «السببي»

والقانون «الإحصائي» مستخدمين مثال النقطة الكتلية التي تطلق من موضع ابتدائي محدد بسرعة ابتدائية محددة نحو هدف لتصطدم به عند نقطة محددة.

وإذا كنا نعرف الظروف الابتدائية («السبب») فهل سنعرف نقطة الاصطدام على سطح الهدف («النتيجة»)؟ وعلى وجه الدقة في التعبير، ما هو «القانون السببي» الذي يربط السبب بالنتيجة؟ ليكن الموضع الابتدائي هو نقطة P، ويمكننا أن نطلق النقطة الكتلية في اتجاه متعامد على مستوى الهدف. فإذا مرت النقطة الكتلية بنقطة P تماماً وكانت متعامدة تماماً مع الهدف فإنها سوف تصطدم به عنده مركزه C. وإذا أطلقنا عدداً كبيراً من النقط الكتلية تحت نفس الظروف فإنها جميعاً سوف تصطدم بالهدف عند نفس النقطة C. ويتم حساب هذه النتيجة بتطبيق قوانين نيوتن، وبالذات قانون القصور الذاتي. وتوخياً للتبسيط على قدر المستطاع سوف نهمل تأثير الجاذبية ونفترض أن مسار النقط الكتلية في اتجاه أفقي. سوف يمكننا أن نصيب مركز الهدف على وجه اليقين إذا كنا على يقين من إطلاق النقطة الكتلية تحت الظروف الابتدائية الصحيحة تماماً. ومعنى هذا أننا يجب أن نبدأ عند النقطة P تماماً وأن نطلقها في الاتجاه الأفقي تماماً.

وعندما نحاول عملياً إجراء هذه التجربة فسوف ندرك الصعوبات الفنية التي تقترن باطلاق كتلة على هذا النحو تماماً. ونكرر إجراء التجربة تحت نفس الظروف العملية؛ وهذا يعني أننا نتخذ في كل مرة نفس النوع من الترتيبات الفنية لكي نوفر الظروف المطلوبة. ونلاحظ عندئذ أن نقط الاصطدام لا تقع عند المركز C في كل حالة، لكن هذه النقط تشكل نموذجاً معيناً حول المركز C. وإذا فحصنا هذا النموذج فسوف نرى أنه يشكل تناسقاً معقولاً حول C، وأن تردد الاصطدامات يتناقص مع البعد r عن المركز. وبتعبير رياضي، يتناقص تردد الاصطدامات على شكل دالة توزيع جاوسي ($e^{r^2/2D}$) للبعد r من المركز. ويتميز كل توزيع من هذا النوع بثابت D، وهو «تشتت» نموذج الاصطدامات. وكلما صغرت D كلما تزايد ازدحام الاصطدامات حول المركز؛ وكلما زادت D، كلما أصبحت الاصطدامات أكثر تشتتاً. ويمكننا بعملية حسابية بسيطة أن نرى أن $D^2= \frac{\Sigma r^2}{N}$ حيث Σr^2 تعني مجموع مربعات المسافات بين كل التصادمات

والمركز، وحيث N هي عدد التصادمات التي ندرسها. و«التشتت» D هو مقياس للفشل في اطلاق الكتل لكي تصيب المركز. ولا يمكن أن يختفي D إلا إذا أفلحت كل الكتل في إصابة المركز تماماً، حيث أنه إذا كانت D=0 فإن كل قيم r سوف تختفي.

وإذا وصفنا الظروف الابتدائية («السبب») بدلالة عمليات فنية ملائمة فإننا لن يمكننا التنبؤ بنقطة الاصطدام تماماً، ولكن يمكننا التنبؤ فقط بنموذج الاصطدامات و«بالتشتت» D. و«النتيجة» هي نموذج «للتشتت». ويوصف هذا الوضع في العلم على النحو التالي: إذا أمكن أن نعطي الكتلة الموضع الابتدائي P تماماً والسرعة المتعامدة تماماً مع الهدف فسوف تصطدم الكتلة بالمركز C تماماً. أما من الناحية العملية، فإنه نظراً لعدم كفاءة الأجهزة التي نرسي بها الموضع والاتجاه، فإن الموضع الابتدائي الواقعي يكون على بعد معين من نقطة P، أما السرعة فتكون لها مركبة معينة موزاية للهدف. ويمكننا أن نرمز إلى مسقط البعد عن نقطة P فوق الهدف بالرمز Δq، وأن نرمز إلى مركبة الزخم (أي الكتلة × المسافة) الموازية للهدف بالرمز Δp. وعندئذ يمكننا أن نقول إن الكتل لا تصطدم جميعها بالمركز C لأن Δq، Δp ليست جميعها مساوية للصفر. ومن ثم فإن التشتت في Δq والتشتت في Δp هما:

$$D_q^2 = \Sigma(\Delta q)^2/N$$
$$\Delta p: D_p^2 = \Sigma(\Delta p)^2/N$$

ويمكننا أن نقول إن كل الاصطدامات سوف تقع عند المركز إذا اختفت كل من D_q، D_p. وما لم تختف كل من D_q، D_p في نفس الوقت فلن نستطيع أن نتنبأ «بنتيجة» إطلاق كل كتلة مفردة، ولكننا نستطيع أن نتنبأ فقط بالنموذج الناشىء عن اطلاق «حشد» الكتل جميعها. أي يكون لدينا قانون «إحصائي».

وعلى أية حال، فإنه ينتج من قوانين الحركة، بطريقة رياضية بحتة، أننا يمكننا أن نتنبأ باصطدامات عند المركز تماماً إذا أمكن أن ننتج «حشوداً» تختفي فيها تشتتات المواضع والزخوم. وإذا استطعنا بالغاء التشتتات في الظروف الابتدائية (كما هو الوضع في حالتنا هذه) أن نتخلص أيضاً من التشتت في النتيجة، فإن قانوننا يكون «قانوناً سببياً» طبقاً لبديهيات الميكانيكا النيوتونية. وهو أيضاً «قانون

سببي» بدلالة الظواهر المرئية إذا كنا على يقين من قدرتنا على تحسين الأجهزة العملية بحيث يمكن أن نقلل من التشتتات D_q، D_p كما نشاء. ويمكننا عندئذ أن نكون على يقين من أننا إذا استخدمنا هذه الأجهزة فإننا نستطيع أن نتنبأ «بالنتيجة»، أي بإصابة المركز، على النحو الذي نريده من الدقة.

وسوف نضع الآن الصفات المميزة للقوانين التي ليست «سببية» بالمعنى الذي وصفناه الآن. يجب أن يتوافر في القانون السببي شرطان، شرط رياضي، وشرط فيزيائي (تجريبي). وطبقاً للشرط الأول، يختفي التشتت في «النتيجة» إذا اختفى التشتت في الظروف الابتدائية؛ وطبقاً للشرط الثاني، فإن هناك أجهزة فيزيائية يمكن باستخدامها التخلص من التشتت في الظروف الابتدائية (D_q، D_p) في آن واحد. ويتفق هذا على وجه اليقين مع قوانين الحركة لنيوتن إذا افترضنا أن هذه القوانين بالإضافة إلى التعريفات التشغيلية للموضع والزخم - تنطبق على قيم p، q مهما كانت هذه القيم الصغيرة. ولا يمكن من غير هذا الفرض أن نستنبط إمكانية إلغاء D_q، D_p في آن واحد، وأن نتنبأ بإصابة المركز إصابة دقيقة. وقد عرفنا أن قانون القصور الذاتي الذي يتيح إصابة مركز الهدف إصابة دقيقة هو، بدلالة الظواهر المرئية، قانون لنموذج التصادمات، أي قانون إحصائي. ونحن نسميه «سببياً» فقط لأنه بتقليص التشتت في الظروف الابتدائية آنياً يمكننا أن نتنبأ بالموضع الدقيق للاصطدام. وعلى هذا فإننا نحصل على نوعين مختلفين من القوانين إذا عدنا إلى الحركات التي تتيح أيضاً أن نتنبأ بنموذج للتصادمات، ولكن التشتت لا يختفي في «النتيجة» بمنع التشتت في الظروف الابتدائية. والواضح أن هذه هي الحالة إذا وصفنا لعبة «الرؤوس والذيول» كظاهرة ميكانيكية بواسطة قذف قطعة النقود. والنتيجة التي يعرفها كل الناس لهذه التجربة الميكانيكية أنها إذا أجريت مرات عديدة فإن الرأس يظهر في حوالى نصف المرات ويظهر الذيل في النصف الآخر.

وكثيراً ما وصفت هذه التجربة في كلمات بأن يقال إننا لا نعرف سبباً لأن يظهر أحد وجهي العملة أكثر من ظهور الوجه الآخر. ومع ذلك، فإن حركة قطعة النقود تخضع لنفس القوانين الميكانيكية التي يخضع لها إطلاق النقطة الكتلية

نحو مركز الهدف. وجهلنا بما سوف يحدث لا يمكن أن يكون بديلاً عن قوانين الحركة لنيوتن. ويجب أن نتحقق من أن لدينا في تجربة قطعة النقود «سبباً» هو الطريقة التي نلقي بها القطعة بواسطة ترتيب معين، ولدينا «نتيجة» وهي تعدد ظهور الرأس أو الذيل إلى أعلى. وهذا الوضع يماثل الحالة التي يكون فيها «السبب» هو التصويب نحو الهدف، والذي تنشأ عنه «النتيجة» هي تعدد (أو تردد) التصادمات على أبعاد مختلفة من مركز الهدف. وإذا رمينا بقطعة النقود مرات عديدة، ولتكن N، فإننا يمكن أن نعتبر هذه الرميات جميعاً تجربة واحدة. وترمي قطعة النقود في كل مرة تحت نفس الظروف التجريبية الابتدائية. ويمكن أن توصف «النتيجة» كنموذج بأن نرمز إلى كل رمية إما بالرمز H إذا ظهر الرأس إلى أعلى أو بالرمز Tإذا ظهر الذيل إلى أعلى. وتوصف «النتيجة» عندئذ بالنموذج

HTT HHT HTTT HHT H...

وكلما زادت الرميات يتضح وضوحاً متزايداً أن عدد الحروف H يتساوى تقريباً مع عدد الحروف T في النموذج.

ومع ذلك، فهناك اختلاف أساسي بين «النتائج» التي تحددها الظروف الابتدائية للتصويب نحو هدف وبين رمي قطعة النقود. ففي الحالة الأولى يمكننا بواسطة تقليص التشتت في الظروف الأولية أن نقلص النتيجة إلى أن يمكننا أن نتنبأ على نحو دقيق تقريباً بقيم q، p في إصابة الهدف. أما في حالة إلقاء قطعة النقود فيمكننا أن نتنبأ على وجه اليقين تقريباً بنموذج ....HTT يكون فيه عدد الحروف H هو N / 2 من بين N مرة رميت فيها قطعة النقود. ولا يعتمد النموذج على الموضع والسرعة الابتدائيين لقطعة النقود. وإذا قلصنا التشتت في الظروف الابتدائية فلن يغير ذلك من «النتيجة» - أي من عدد مرات وجود H، T في مجموعة كبيرة من الرميات.

ولن يمكننا التنبؤ بشيء إذا شاهدنا عدداً صغيراً من الرميات؛ سوف يبدو النموذج متقلباً ولا يمكن التنبؤ به. وكلما كبرت المجموعة كلما ظهر تردد يمكن الاعتماد عليه. وعندما نقول إن «التردد ١/٢» فإننا نعني «بتردد» أحداث «الرؤوس» نسبة عدد المرات التي يظهر فيها الرأس إلى العدد الكلي للرميات.

ونقول في هذه الحالة إن عملية رمي قطعة النقود «كسبب» تترتب عليها ـ على وجه اليقين تقريباً ـ «نتيجة»، وهي مجموعة رميات يكون تردد الرؤوس فيها ٢ / ١. ويمكننا أيضاً أن نضع نصاً مماثلاً عن التصويب نحو الهدف. فإذا أطلقنا عدداً صغيراً من النقط الكتلية فإننا نشاهد عدداً صغيراً من الاصطدامات على الهدف، ولا يمكننا أن نتنبأ بأي شيء عن البعد عن المركز C الذي يقع الاصطدام عنده. ولكننا إذا أطلقنا عدداً كبيراً جداً من النقط الكتلية، فيمكننا أن نتنبأ بتكوين نموذج محدد. وإذا رسمنا دوائر بأنصاف أقطار مختلفة (r) ومراكزها عند C، فإن نسبة عدد الإصابات داخل دائرة نصف قطرها r إلى العدد الكلي للاصطدامات ستكون دالة معينة لنصف القطر إذا كان عدد الاصطدامات كبيراً جداً.

ونرى من هذين المثالين أننا نستطيع أن نستنبط من قوانين الحركة لنيوتن نوعين من القوانين التي تنبطق علىالظواهر المرئية. ويجب أن نتذكر أن قوانين نيوتن نفسها ليست نصوصاً بشأن الوقائع المرئية. ولكنها خطة مفاهيمية فقط. وعلى أية حال، هناك نوعان أساسيان من القوانين التي يمكن استنباطها والتي يسهل اختبارها. فمن ناحية، لدينا «القوانين السببية». ومن أمثلة هذه القوانين، التصويب نحو هدف بإطلاق نقطة كتلية والوضع في هذه الحالة وضع بسيط. فمجال القوة مجال بسيط، ويمكن مشاهدة الظروف الابتدائية بإعطاء قيم عدد صغير من المتغيرات. ويمكننا في هذه الحالة أن نقلل التشتت في التنبؤ بالقيم النهائية للمتغيرات (القيم عند الهدف) بقدر كبير من اليقين. ويمكننا مع ذلك أن نستخلص أيضاً نتائج من نوع مختلف تماماً عن قوانين نيوتن. والوضع في هذا النوع الثاني وضع شديد التعقيد. فالظروف الابتدائية لقطعة النقود لا يمكن وصفها بعدد صغيرمن المتغيرات. ولدى مرور القطعة بالهواء تصطدم بعدد هائل من جسيماته التي تتحرك بسرعات غير منتظمة. ولا يمكننا في هذه الحالة أن نتنبأ بأي شيء عن قيم متغيرات الحالة عند لحظة معينة، ولكننا نتنبأ فقط بمتوسط سلوك معين؛ إننا نسجل فقط ما إذا كان الرأس أو الذيل هو الذي سيستقر إلى أعلى بعد أن تصطدم قطعة النقود بالأرض. ومع ذلك، فإننا نستطيع أن نصف هذا النموذج بقانون بسيط، وهو التردد ٢ / ١ في حالتنا هذه. ويسمى هذا النوع من القانون «بالقانون الإحصائي». وفي هذه الحالة لا يتأثر التردد المتنبأ به بأي

تقليص في تشتت متغيرات الحالة الابتدائية لقطعة النقود.

وكل تطبيقات الميكانيكا النيوتونية على الظواهر المرئية مبنية على هذين النوعين من القوانين. وكل منهما على السواء ناتج عن معادلات الحركة النيوتونية. وهما ينتجان من نوعين مختلفين للحلول التقريبية التي يمكن استنباطها تحت ظروف مختلفة. وفي الحالة الأولى يتيح تضاؤل التشتت في القيم الابتدائية أن نتنبأ على درجة كبيرة من الدقة بوجود قيم معينة لمتغيرات الحالة. وهنا يكون لدينا «قوانين سببية». وفي الحالة الثانية، يمكننا أن نتنبأ من الظروف الابتدائية بنموذج معين في قيم متغيرات الحالة، أو بتعبير آخر، في «تردد» وقوع القيم المختلفة لهذه المتغيرات في وقت معين، ويكون تنبؤنا على قدر كبير من الدقة. وهنا يكون لدينا «قوانين إحصائية».

وقد أوضح تقدم العلم أن علينا أن نكتفي بهذين النوعين من القوانين ـ «قوانين السببية»، و«القوانين الإحصائية» ـ ليس في الميكانيكا وحدها، وإنما في كل مجالات العلم. وطبعاً يتمثل الفرق في أنه في المجالات التي نعتقد أنها خاضعة للميكانيكا النيوتونية يمكننا أن نستنبط نوعي القوانين في ميكانيكا نيوتن. واستنباط القوانين الإحصائية من قوانين الحركة لنيوتن يمكن أن يعود في النهاية إلى «النظرية الأرجودية»(٧). فإذا افترضنا أن كل الكتل في نظام ميكانيكي تظل دائماً في نطاق حدود ثابتة محددة، وأن الطاقة في هذا النظام تظل ثابتة، فمن الممكن أن نستنبط من المعادلات التفاضلية للحركة أن هذا النظام يقترب المرة تلو الأخرى من المواقع والسرعات التي تتفق مع الحدود والطاقة المذكورة. وإذا تتبعنا هذا النظام عبر فترة زمنية طويلة. نرى أن كل حالة للنظام (الموضع والزخم) تتكرر بتردد يعتمد على هذه الحالة فقط. وتنص هذه «النظرية الأرجودية» على «قانون إحصائي» للنظام الميكانيكي، مما يؤدي بنا إلى أن نفترض أن أي قانون إحصائي لا بد أن يبنى في نهاية الأمر على نظرية شبيهة «بالنظرية الأرجودية».

ونحن نفترض أن نفس النوعين من القوانين موجودان في المجالات الأخرى، فنقوم بدراستهما دراسة مباشرة دون أن نتطلب برهاناً على انتمائهما إلى أصل مشترك. وعلى أية حال، فإن انتماء كل من نمطي القوانين في حالة الميكانيكا

إلى قوانين نيوتن يحملنا على النظر إلى القوانين السببية والقوانين الاحصائية على أنهما ليسا نوعين من القوانين لا يمكن التوفيق بينهما. وإذا تحدثنا بدلالة الظواهر المرئية نجد أن كل القوانين هي قوانين إحصائية. فنحن نستطيع التنبؤ بنموذج للإصابة من خلال ملاحظة خطوات التصويب نحو هدف؛ وبنفس الطريقة، يمكننا من خلال ملاحظة خطوات رمي قطعة النقود أن نتنبأ بتردد ظهور «الرؤوس» أو «الذيول». ويمكننا من خلال القوانين الرياضية للحركة أن ندخل في الحالة الأولى «قانوناً سببياً»، وذلك بتقليص التشتت في الظروف الابتدائية. وبتوصلنا إلى حساب هذا الحد، يمكننا أن ندخل الأسلوب الآتي في الحديث: إذا أطلقت كتلة على نحو متفق تماماً مع بعض الشروط الرياضية، فسوف تصيب الهدف عند المركز تماماً. لكننا عندما نضع قيمة عددية لسرعة نقطة كتلية فلن يكون لذلك معنى سوى أننا ننص على وجود حد. والسرعة المرئية هي دائماً متوسط حسابي للمشاهدات ولا يمكن أن توجد في قانون سببي دقيق إلا في صورة حد. وبعبارة أدق نقول، إن هناك قوانين إحصائية تسمح بوجود حدود؛ وهذه تسمى «قوانين سببية». ومن ناحية أخرى، هناك قوانين إحصائية (مثل قانون إلقاء قطع النقود) لا تسمح بوجود حدود.

ويجب أن نتذكر في هذه الاعتبارات أننا اعتبرنا في كل هذه المناقشات أن من الأمور المسلم بها أن الظواهر المعينة تتبع قوانين يمكن التعبير عنها بدلالة بعض المتغيرات الخاصة، كالمواضع والسرعات. وإذا اعتبرنا بعض الظواهر الأكثر تعمياً، مثل الظواهر الاجتماعية أو البيولوجية أو السيكولوجية، فلا يمكننا أن نتحدث عن «قوانين» إلا إذا حددنا ما هي المتغيرات التي سوف يكون لها القانون السببي أو القانون الإحصائي. وإذا وصفنا لعبة قطع النقود باعتبار «تردد» الرؤوس متغيراً، يكون لدينا «قانون سببي». ويتضح يقيناً من خطوات إلقاء النقود أن تردد الرؤوس سيكون ٢/١.

٥ - حواشي الفصل [١٢]

١ - فيليب فرانك، «Modern Science and Its Philosophy»، (كمبريدج: مطبوعات جامعة هارفارد، ١٩٤٩)، الفصل ١.

٢ - فيليب فرانك، انظر الفصل ١١، الحاشية ٧.

٣ - دافيد هيوم «Enquiry Concerning Human Understanding» القسم ٧، الجزء ٢.

٤ - ايمانويل كانت، «Prolegomena to Any Future Metaphysics» حررها بالانجليزية بول كاروز، (شيكاغو: Open Court Publishing Co. ١٩٠٢)، صفحة ٤٦.

٥ - هنريتش ريكيرت «Limitations of Conceptions of Natural Science»» مجلدان، (١٨٩٦ - ١٩٠٢).

٦ - انظر الفصل ٣، قسم ٥.

٧ - تتركب كلمة «ergodic» من اختصار لكلمتين يونانيتين، تعني الأولى «الشغل» والثانية تعني «الطريق» والنظرية الأرجودية تشير إلى السطح ذي الطاقة الثابتة الذي يقع فوقه مسار النظام

[١٣]

علم العلوم

١ ـ موضع الاستقراء في العلوم القديمة والحديثة.

كتب الفيلسوف البريطاني الشهير جون ستيوارت ميل[١] خطاباً في عام ١٨٣١ يقول:

> **«إذا كان هناك علم ما استطيع أن أضيف إليه نجاحاً، فأظن أنه علم العلوم نفسها، علم الفحص، علم الطريقة».**

وقد أصبح من الأمور المعتادة التمييز بين العلوم الحديثة والعلوم الوسيطة (علوم القرون الوسطى) بإبراز التغيير الذي طرأ على دور الاستقراء والاستنباط. وقد بدأت علوم القرون الوسطى الاستنباط (سائرة في درب الفلسفة الأرسطوية)، أي باستنتاج الحقائق المفردة من المبادىء العامة، بينما تبدأ العلوم الحديثة (بعد عام ١٦٠٠) من الحقائق المرئية المفردة، مستطردة إلى المبادىء العامة من خلال طريقة «الاستقراء» وقد سميت العلوم الطبيعية، الفيزياء والكيمياء والبيولوجيا «بالعلوم الاستقرائية». ويعتبر كتاب «History of the Inductive Sciences» للعالم وليام هويويل[٢] واحداً من أهم الكتب في تاريخ العلوم الطبيعية. ما هو المقصود فعلاً بتمييز

العلوم الحديثة عن العلوم القديمة على هذا النحو؟ إننا نقصد أن نبرز أن رجل العلم الحديث يجمع الحقائق المفردة بواسطة المشاهدة والتجربة، ويستطرد من هذه الحقائق بطريقة «الاستقراء» وصولاً إلى المبادىء العامة، بينما يبدأ رجل مثل أرسطو في كتابه عن الفيزياء «physics» من المبادىء العامة ويستنبط منها الاستنباط المنطقي («بالاستنتاج») وقائع مفردة يمكن رؤيتها. وفي الواقع أن على رجل العلم الحديث عندما يضع مبادىء عامة بواسطة الاستقراء أن يستخلص منها استنباطات منطقية لكي يحصل على حقائق مفردة يمكن تدقيقها بواسطة التجربة. ومن ناحية أخرى، فإن رجلاً مثل أرسطو لم يعثر على مبادئه العامة في أحلامه ولكنه بناها على تجربته التي تتألف من مجموع الحقائق المفردة التي شهدها.

ومن ثم فإن العلم قد استخدم كلاً من الاستنباط والاستقراء دائماً في الممارسة الواقعية، غير أنه كان هناك اختلاف في طريقة وضع المبادىء العامة على أساس الوقائع المرئية. ولا شك أن معاصري أفلاطون وأرسطو قد عرفوا من مشاهداتهم أن الأجرام السماوية تسير في مدارات تبدو دائرية. ولا شك أن هذه المشاهدات كانت الأصل في وجود المبدأ القائل بأن تحركات الأجرام السماوية كلها تحركات دائرية؛ ومن ثم يمكن القول بأن مبدأ المدارات الدائرية قد تكون بواسطة الاستقراء، إذا استخدمنا الكلمة بالمعنى العام لاستنباط الفروض العامة من الفروض المتعلقة بوقائع مفردة. وعلى أية حال، فقد وصفنا وصفاً ممحصاً[٣] أن مبدأ المدارات الدائرية للأجرام السماوية كان «موضع ايمان» راسخ بدرجة لا يستطيع أن يكفلها مثل هذا «الاستنتاج الاستقرائي». كان الناس يؤمنون به كمبدأ جلي)، لقد كان يبدو لهم أن من المعقول جداً أن الكائنات الإلهية المثالية (المتصفة بالكمال) مثل الأجرام السماوية يجب أن تتحرك أيضاً في «مدارات مثالية»، والمنحني المثالي هو الدائرة. وإذا استنبط المرء من مبدأ المدارات الدائرية موضع الكوكب على الكرة السماوية، فإن المبدأ يكون قد تحقق على وجه التقريب. وإذا استنبط المرء عدداً كبيراً من المواضع ثم قام بقياسها قياساً دقيقاً، فإنه لن يجد المدار دائرياً تماماً، ولكنه سوف يجده إهليجياً (قطعاً ناقصاً) كما وجده كبلر. وقد كان الجدل القائم أصلاً حول «الكمال» يحظى بالأهميـة الكبرى، بحيث لم يهتم الناس كثيراً بأن مواضع الكواكب المستنبطة من مبدأ الاستدارة لا تتفق بدقة مع

المواضع المرئية. غير أن ذلك الاهتمام قد تزايد بمرور الزمن.

لم يكن الاختلاف بين العلوم الحديثة والعلوم القديمة هو استخدام الأولى للاستقراء ـ فالعلوم القديمة مبنية على الاستقراء أيضاً ـ ولكن الاختلاف كان يتمثل في المعايير التي تتخذ أساساً لاعتبار المبدأ المكتشف مبدأً صالحاً للتطبيق. فطريقة «التحقيق» مختلفة الآن؛ فاتفاق النتائج مع الوقائع المرئية أهم من اتفاق المبادىء مع صورة الكون التي كانت مقبولة للأسباب التي سميناها أسباباً «فلسفية» (الفصل ١). ويرى كثير من المؤلفين أن العلوم الحديثة تتميز باصرارها الراسخ على أن «تحقيق» المبادىء العامة لا يتم إلا إذا اتفقت نتائج هذه المبادىء مع «الوقائع المرئية». وعلى أية حال، فلا بد أن يؤخذ هذا الإصرار بشيء من التحفظ حتى في هذا القرن. فمن الناحية العملية كان هذا التصميم يعني أن تحقيق المبادىء الفلكية يجب ألا يضع في اعتباره سوى التحقق بواسطة مشاهدة الوقائع الفلكية. أما اتفاق النظام الكوبيرنيكي أو عدم اتفاقه مع المذاهب اللاهوتية والفلسفة فقد أصبح أمراً «خارجاً على النظام» من وجهة نظر «العلوم الحديثة».

وعلى أية حال، فقد كان من «الوقائع المرئية» أيضاً أن النظام الكوبيرنيكي يناقض عادات التفكير الفطري السليم؛ فقد كان يفرز مشاكل سيكلوجية؛ وكانت هذه وقائع مرئية لا سبيل إلى إنكارها. ومن ناحية أخرى، لم يقتصر قبول العلوم الحديثة لمبادئها على أساس الوقائع الفيزيائية التي يمكن استنباطها من هذه المبادىء ورؤيتها بحواسنا. ومن المؤكد أن النظام الكوبيرنيكي لم يكن ليقبل قط قبل أن يفقد الإيمان بحرفية تفسير الكتب المقدسة سلطانه. كما أن مبدأ النسبية لأينشتاين لم يكن ليقبل إذا لم يهتز الإيمان الميتافيزيائي بالمكان والزمان المطلقين بفضل الفلسفة التجريبية لرجال مثل أرنست ماسن. ولذلك لا يمكننا أن نرسم خطاً حاسماً يفصل بين نمط التحقق الذي استخدمه أرسطو والنمط المستخدم في العلوم الحديثة. ويمكننا فقط أن نقول إن العلوم الحديثة تفضل معايير التحقق التي يمكن لكل من لديه مران كاف أن يستوعبها ويدققها. ومن المفهوم أن مثل هذا المران يمكن أن يتوافر لدى كل إنسان عادي الحواس والقدرة الذهنية. ويجب طبعاً أن نقر بما في مصطلحات مثل «عادي» و«يستوعب» من إبهام. والعلم يفضل المشاهدات التي

تتألف مثلاً من رؤية بقعة حمراء عند نقطة معينة من الفضاء وعند لحظة معينة من الزمان، أو تحسس سطح دافىء مستدير، أو ما شابه ذلك من «المشاهدات الحسية». ومن المهم أن نفهم أن رجل العلم ليست لديه آراء ميتافيزيائية مثل «يتألف الكون الحقيقي من المشاهدات الحسية»؛ إنه يفضل البيانات الحسية فقط لأن كل إنسان يمكنه أن يكررها ويدققها.

ويمكننا أيضاً أن نصوغ الفرق بين العلوم الحديثة والعلوم القديمة بطريقة أخرى: يبدأ أرسطو (وعلوم العصور الوسطى) من البيانات الحسية المرئية ويستطرد سريعاً جداً نحو مبادىء عامة تبدو جلية. إنهم يضعون القانون العام للمدارات الدائرية من مشاهدات قليلة ومبهمة للمواضع على سطح الكرة. ويمكن للمرء أن يتمتع بجمال هذه المبادىء العامة، غير أنه لن تكون هناك رجعة إلى القوانين الأقل تعميماً والتي يمكن أن نستنبط منها وقائع أقرب إلى الرؤية الدقيقة من الوقائع التي بدأ بها المرء. وكما هو معروف جيداً كان الفيلسوف فرنسيس باكون[٤] يعتبر الاستقراء أساساً للعلم. وقد قدم وصفاً موفقاً للفرق بين دور الاستقراء في العلوم الحديثة ودوره في العلوم القديمة. وبالرغم من أنه من المعتاد أن يعزى إلى باكون فضل التحول من الفلسفة الأرسطوية إلى العلوم الحديثة، فإنه لم يزعم قط أن الفلسفة الأرسطوية وعلوم العصور الوسطى لم تكن مبنية على الاستقراء؛ ولكنه وصف الفرق بين العلوم القديمة والعلوم الحديثة وصفاً قديراً. وقد بين باكون في كتابه «Novum Orgamum» الأسلوب الجديد الذي يجب على العلم أن يتبناه لكي يفيد في السيطرة على الطبيعة.

كتب فرانسيس باكون يقول[٥]:

> **هناك طريقتان اثنتان فقط للبحث في الحقيقة واكتشافها. وتبعث الطريقة الأولى من الحواس والخصائص محلقة نحو أكثر البديهيات تعميماً، ومن هذه المبادىء التي استقرت حقيقتها وترسخت يتقدم المرء نحو تمييز واكتشاف البديهيات الوسطى، وتلك هي الطريقة المتبعة الآن. وفي الطريقة الثانية تستنبط البديهيات من الحواس والخصائص لترتفع في صعود تدريجي لا ينقطع حتى تصل إلى أكثر البديهيات تعميماً. وتلك هي الطريقة الصحيحة، ولكنها لم تجرب بعد.**

ونرى بوضوح أن باكون يدرك أن كلًا من العلوم القديمة والعلوم الحديثة يبدأ بالاستقراء؛ ولكن ما هو الفرق بين استخدام الاستقراء في العلوم القديمة والحديثة؟ يصف باكون هذا الفرق بوضوح[٦]:

> تبدأ كل من الطريقتين من الحواس والخصائص لتسكن في أعلى التعميمات؛ لكن الفرق بينهما لا حدود له. فإحداهما تلقي نظرة عابرة على التجربة والخصائص أما الأخرى فهي تعايشـها كما يجب. تبدأ الأولى بأن تشرع فوراً في وضع تعميمات مجردة وغير مفيدة، أما الأخرى فتتقدم في خطوات تدريجية نحو ما هو أهم وما هو معروف لدينا أكثر من غيره في ترتيب الطبيعة.

والنقطة الرئيسية في صيغة باكون هي ما نقوله عن دور «البديهيات الوسطى» أو ما سميناه في (الفصل ١) بالمبادىء «المتوسطة التعميم». وهذه هي قوانيننا الفيزيائية مثل قانون الجاذبية أو قانون التكافؤ بين الحرارة والشغل الميكانيكي. ويمكن للنصوص الخاصة بالظواهر أن تستنبط تماماً من هذه المبادىء. وفي العلوم الحديثة يتم وضع هذه القوانين من مشاهداتنا وتجاربنا بواسطة «الاستقراء». أما في علوم العصور الوسطى وفي الفلسفة فإن عملية الاستقراء من المشاهدات تتغاضى عن هذه «البديهيات الوسطى»، لتضع أكثر المبادىء الفلسفية تعميماً مثل «الكمال» و«البحث عن المكان الطبيعي»، الخ، وهي المبادىء التي يمكن استنباط «البديهيات الوسطى» منها بطريقة الاستنباط. ومن ثم فإنه لم يحدث أبداً أن اتفقت أكثر المبادىء تعميماً مع الوقائع المرئية.

٢ ـ الاستقراء، والقوانين العامة، والوقائع المفردة

وإذا استعرضنا بنية العلوم التي ناقشناها عند تقديمنا للهندسة، ونظرية الحركة لنيوتن، ونظرية النسبية، وحركة الأشياء الذرية[٧]، فسوف نلاحظ أننا في كل الحالات كنا نبدأ من منظومة من البديهيات وتستنبط النظريات منها. والمشكلة الرئيسية التي تواجهنا الآن هي كيف نصل إلى هذه البديهيات أو المبادىء العامة. فالمادة التي تبدأ منها والتي يجب أن نستخرج منها المبادىء، تتكون أولًا من النتائج التي حصلنا عليها من خلال مشاهداتنا وتجاربنا. ويمكن أن نسميها «مادة الرؤية». ومن ناحية أخرى فإن مادة البناء المباشر للمبادىء هي الكلمات والمعادلات

الرياضية، مع القواعد التي تربط هذه الكلمات والمعادلات بعضها ببعض، أو قواعد تركيب الجمل من الكلمات، أو المنطق الاستنتاجي. ويمكننا أن نوجز ذلك في «المادة اللغوية». كانت مهمة العلم أن يستدل من مادة الرؤية مبادىء عامة تتألف من رموز وترتبط بعمليات منطقية. ويمكننا أن نقول إن على العلم أن يصنع بنية «للمادة اللغوية» وذلك على أساس «مادة الرؤية». ويمكن أن تسمى خطوات بناء مثل هذه البنية «بالاستقراء».

ومن الواضح أن كلاً من مادة الرؤية والمادة اللغوية يتطور وينمو عبر تاريخ البشر. ويعتمد نموهما على عوامل اجتماعية وسيكلوجية. وبتعبير أقرب إلى اللغة المألوفة نقول إن الناس قد تعودوا أن يصفوا هذين العنصرين على أنهما «وقائع» وأفكار، كما فعل هويويل في كتبه الأساسية عن تاريخ العلوم الاستقرائية وفلسفتها[٤]. وقد أوضح[٩] س.ج.دوكاس[٨] أنه يوجد كثير من «أزواج المصطلحات التي ترجع كلها إلى وجه أو آخر من أوجهه هذا التناقض الأساسي». وقد يكون من المفيد أن نقتبس بعض هذه الازدواجات لنحرر تفكيرنا من الارتباط ببعض النماذج اللفظية. ويتحدث هويويل مثلاً عن تناقض «الأفكار» و«الأشياء (Thoughts and things)». ولذلك فإنه عندما يقال إن السنة تتكون من ٣٦٥ يوماً، فذلك يتضمن المجموع كما ذكر، هذا من ناحية، ومن ناحية أخرى فإنه يتضمن عملية العد الذهنية. «ولا يمكن أن يكون هناك ارتباط بدون الأفكار؛ ولا يمكن أن تكون هناك حقيقة بدون الأشياء». وهناك طريقة أخرى مألوفة في الحديث، وهي إبراز التناقض بين «الحقائق الضرورية والحقائق التجريبية». يقول هويويل: «تستنبط الحقائق الضرورية من مشاهداتنا للأشياء المحيطة بنا». بل إن التعارض بين الاستنباط والاستقراء يمكن اعتباره وجهاً آخر من أوجه التناقضات الأساسية نفسها. ويبين هويويل أن «الاستنتاج» يبدأ من نصوص تزودنا بها «أفكارنا»، بينما يبدأ «الاستقراء» من مشاهدة «أشياء» خارجية. ومن نفس نوع التناقضات هو ما بين «النظرية» و«الواقع». يقول هويويل:

> إنني أسمي الزمان، والمكان، والسبب، الخ. «أفكاراً»... وتتضمن هذه العلاقات شيئاً أبعد مما يمكن أن تقدمه لنا المشاهدات الحسية. ونحن نستخدم كلمة «أفكار» لنعبر بها عن ذلك العنصر الذي يزودنا به العقل نفسه، والذي

يجب أن يقترن «بالإحساس» لكي تتولد المعرفة[٩].

وإذا استخدمنا، مثل هويويل، تعبيرات غير دقيقة تماماً ولكنها قريبة من لغة الفطرة السليمة، فيمكننا أن نقول إن «الاستقراء» يبدأ من الإحساسات، والوقائع، والأشياء. . . . ويربط هذه العناصر بواسطة الأفكار والنظريات، والآراء الضرورية. . . ويتجه نحو المبادىء العامة التي يمكن أن تستنبط منها أشياء ووقائع جديدة بواسطة الاستنباط. ونرى في نهاية الأمر أن «الاستقراء» يقود المرء من الوقائع المرئية إلى اكتشاف وقائع جديدة. ومن الأمثلة البسيطة على ذلك: نحن نلاحظ مواقع الكواكب في السماء؛ وهذه وقائع. وقد أضاف كبلر فكرة المدارات الاهليجية التي ربط بها بين الوقائع المرئية؛ وبهذه الطريقة وصل كبلر إلى قوانينه للحركة. ويمكن للمرء أن يعرف بالاستنتاج مواقع الكواكب التي لم تشاهد من قبل. وبهذه الطريقة يمكن للمرء أن يتنبأ بوقائع جديدة على أساس الوقائع المرئية. وقد أثير التساؤل عما إذا كانت عملية الاستقراءتقودنا من الوقائع المرئية إلى القوانين العامة أم أنها تقودنا من الوقائع المرئية إلى وقائع جديدة لم تسبق رؤيتها. وكما عرفنا حتى الآن، يتضح أنه لا يمكن أن يكون هناك سبيل يؤدي بنا من الوقائع المرئية إلى وقائع جديدة مجهولة بواسطة الاستنتاج المنطقي. ولا يمكن لمثل هذا السبيل سوى أن يتخلل المبادىء العامة التي يمكن استنباط الوقائع منها. ومن ناحية أخرى، لا يمكن إيجاد المبادىء العامة إلا بالاستقراء من وقائع معلومة. وعلى كل حال، فقد أثير كثير من الجدل حول ما إذا كان «الاستقراء» طريقة تقودنا من وقائع معلومة إلى وقائع جديدة، أم هي طريقة تقودنا من وقائع معلومة إلى قوانين عامة.

وقد يكون من المفيد أن نلقي نظرة على النقاش[١٠] الذي دار بين جون ستيوارت ميل ووليام هويويل، حيث إن هذين المؤلفين قد أوليا موضوع «الاستقراء» نصيباً من تفكيرهم أكثر مما فعل أي من معاصريهم. وحتى في وقتنا هذا يجب أن يدرس ما كتبه هذان المؤلفان باعتباره مادة خلفية. والواقع أن هويويل كان أول من صاغ بنية العلم على النحو الذي ندركه اليوم. ومن ناحية أخرى، يقدم ميل موضوع الاستقراء على نحو أقرب إلى أفكار الفطرة السليمة، ولذلك يعتبر أسلوبه بالياً إلى حد ما من وجهة نظر علومنا الحالية. وعلى هذا فإن

المناقشة بينهما تعطي صورة واضحة لطريقة بناء علوم اليوم. وعلى سبيل المثال، يختلف هويويل عن ميل الذي تشتمل فكرته العامة عن الاستقراء على العملية التي نصل بها «إلى الوقائع المفردة» من وقائع أخرى «لها نفس الدرجة من الخصوصية». . . ومثل هذا الاستدلال لا يكون استقراء فقط؛ وحتى إذا كان استقراء فإنه يكون استقراء مطبقاً على مثال معين.

إذا اصطدمت كرة بكرة أخرى، فإننا نستطيع بواسطة الاستقراء أن نجد قانون بقاء الزخم؛ لكن هويويل يرى أن اصطلاح «الاستقراء» لا يمكن تطبيقه إذا استطاع لاعب بلياردو عادي، بمهارته، ودون أن يفكر في الزخم، أن يضرب كرة في الاتجاه الذي يريده. ويؤكد ميل على أن هذا نمط من الاستقراء نجده حتى عند الجهلاء.

فالفعل الصادر على «الانعكاس اللا إرادي المشروط»، مثل«الفزع من النار لدى الطفل المحترق أو حتى لدى الكلب المحترق»، يراه ميل فعلاً صادراً عن «الاستقراء». إلا أن هويويل يعترض على هذا الرأي. «. . . . وبالرغم من أن الفعل يمكن أن تعدله العادات، وأن العادات يمكن أن تعدلها الخبرة، سواء عند الحيوان أو الانسان، فإن مثل هذه الخبرة ليست جزءاً من مادة العلم طالما بقيت في هذا الشكل العملي». وقد يظن المرء أن الأمر ليس إلا مجرد كلمات؛ هل نسمي ردود الأفعال عند الأطفال «استقراء» أم لا نسميهاكذلك. وينبهناهويويل إلى نقطة كانت كبيرة الأهمية في العلم والفلسفة. فنحن عندما نفضل تعريفاً للمصطلح «استقراء» على تعريف آخر فإننا نفعل ذلك لغرض معين. فالتعريفات تستخدم لصياغة الفروض الخاصة بالوقائع صياغة مختصرة ومبسطة على قدر المستطاع. ويجب في حالتنا هذه أن نستخدم الفرض: «عندما نتحدث عن الاستقراء فإننا نعني نوع النهج الذي بنيت به العلوم الموجودة بيننا الآن». والعلم كما يؤكد هويويل لا يتألف من الميول والعادات العملية. وإنما يتألف من مبادىء عامة. ومن ثم فإننا إذا أشرنا إلى العادات العملية أو الانعكاسات اللا إرادية المشروطة على أنها استقراء فإن النص بأن العلوم تنمو بالاستقراء سوف يكون عندئذ نصاً زائفاً. وسوف يكون النص الصحيح إذن هو «العلوم تنمو بهذا النوع المعين من الاستقراء

الذي يستخدم المبادىء العامة، أما الاستقراء بواسطة العادات العملية فإنه يلعب دوراً صغيراً. وقد تكون هذه الصياغة سليمة، ولكنها ستكون معقدة، كما أنها تلغي النص بأن «العلم ينمو أساساً بواسطة الاستقراء».

٣ ـ الاستقراء بمفاهيم جديدة

إذا تمسكنا بهذه الصيغة كنص أساسي بشأن «علم العلوم» فيجب أن ندرس كيف ينمو العلم في الواقع لكي تدرك ما هو المقصود بالاستقراء. ومن منطلق مثالنا السابق، يمكن أن ندرس قانون كبلر[١١] الذي يقضي بأن الكواكب تتحرك في مدار أهليجي، بدأ كبلر من المواقع المشاهدة لكوكب المريخ في السماء، ثم استنبط قانونه من «مادة الرؤية» هذه بواسطة الاستقراء. ومن المهم أيضاً أن نفحص كيف وصف جون ستيوارت ميل ووليام هويويل[١٠] هذا الاستنتاج الاستقرائي لكبلر. يرى ميل أن كبلر لم يضف شيئاً إلى المواقع المرئية لكوكب المريخ؛ فهو قد رأى فقط أن هذه المواقع تقع على منحنى إهليجي. ويقول ميل إن كبلر «قد أكد حقيقة واقعة وهي أن الكوكب يتحرك في مسار إهليجي. غير أن هذه الحقيقة، التي لم يضف كبلر إليها شيئاً ولكنه وجدها في حركة الكوكب، كانت هي ذات الحقيقة التي شوهدت أجزاؤها كل منها على انفراد. إنها كانت حصيلة مشاهدات مختلفة». وعلى النقيض من هذا يؤكد هويويل بشدة على «أنها لم تكن مجرد حصيلة مشاهدات؛ إنها كانت حصيلة مشاهدات رؤيت **بوجهة نظر جديدة، أفرزها ذهن كبلر**».

وقد شرح هويويل الفرق بواسطة تماثل مألوف. إن قوانين كبلر موجودة في كتبه، غير أن من لا يعرف اللاتينية لن يعثر عليها.

> لا بد أن نتعلم اللاتينية لكي نعثر على القوانين في الكتاب. وبالمثل يجب على المكتشف أن يعرف لغة العلم وأن ينظر في كتاب الطبيعة لكي يعثر على الحقيقة العلمية.

ويتألف كتاب الطبيعة مما سميناه «مادة الرؤية»؛ غير أنه لكي يستطيع المكتشف أن يصوغ قانوناً، فإن عليه أن يتقن المادة اللغوية لكي يقرأ كتاب الطبيعة. ولقد كان هويويل واضحاً ومقعتناً عندما كتب في هذا الصدد مقترباً

اقتراباً كبيراً من المفهوم السائد من القرن العشرين عن العلم. «الإنسان هو المترجم للطبيعة؛ فهو ليس مجرد متفرج، ولكنه المترجم. ودراسة اللغة، مثلها مثل مشاهدة المرئيات، أمر لازم لكي نستطيع قراءة النفوس المكتوبة على وجه الكون».

ويرى هويويل أن كل استقراءناجح هو بمثابة مفهوم جديد، ونظام جديد يصنعه المؤلف من مادته اللغوية والمنطقية. ويتمثل هذا المفهوم في المنحنى الإهليجي في حالة كبلر، وفي العجلة في ميكانيكا جاليليو؛ وفي العجلة والجاذبية في فكر نيوتن، وفي الموجات في علم الضوء الحديث، . . . . وهكذا. وينكر ميل أن هذه المفاهيم تختلف عن الوقائع المرئية نفسها. فالمفهوم هونسخة من الوقائع. ويقول ميل: «إن العقل لا يقدم المفهوم إلا بعد أن يكون المفهوم قد قدم إلى العقل». أما هويويل فيؤكد على أن «المفاهيم» التي تؤدي إلى استقراءات جديدة هي مفاهيم لا تفرضها الوقائع المرئية على عقولنا، ولكنها تنشأ بواسطة نشاط أذهاننا التي تبني هذه الخطط المفاهيمية الجديدة مستخدمة في بنائها المادة اللغوية التي كانت كامنة في عقولنا أو التي صنعناها بهدف إقامة نظام مفاهيم ملائم. وبينما يعاود ميل إصراره على أن القانون العام موجود في الوقائع ولا يتطلب سوى رؤيته وقراءته، يصر هويويل، على عكس ذلك، على أن القانون العام هو نتاج للنشاط البشري. كتب ميل يقول: «إذا صح ترتيب الوقائع تحت المفاهيم، فالسبب في ذلك هو أن الوقائع نفسها تتضمن شيئاً يكون المفهوم نسخة منه». ويعترض هويويل على ذلك قائلاً: «ولكنها نسخة لا يستطيع صنعها إلا شخص ذو موهبة طبيعية خاصة، وهذا الوضع شبيه بوضع الشخص الذي يتعذر عليه أن يعد نسخة مفهومة من نقوش رديئة الكتابة إلا إذا كان ملماً باللغة».

والنقطة البارزة في كل استقراء قائم على الوقائع المرئية هي استحداث مفهوم جديد يربط هذه الوقائع معاً، أي «يجمع بينها» على حد تعبير هويويل. وإدخال مفهوم جديد عند كل مرة يتم فيها الربط بين الوقائع المرئية أمر يتبدى من اقتران كل استقراء بإدخال بعض التعبيرات اللفظية الجديدة أو المصطلحات الفنية الجديدة. يقول هويويل:

فنحن على الأقل نطبق بعد ذلك باستمرار على الوقائع أحد المصطلحات أو

العبارات التي لم تكن مطبقة من قبل. أكد كبلر على أن المريخ يدور حول الشمس في «مدار إهليجي»؛ وأكد نيوتن على أن الكواكب «تتثاقل» نحو الشمس؛ وهذان المصطلحان الجديدان - «المدار الإهليجي و«التثاقل» - يبرزان المفهومين الجديدين اللذين يقوم عليهما الاستقراء.

ويبين هـويويل أن تاريخ الفيزياء لا يتألف من اكتشاف الـوقائـع الجديـدة فقط، ولكن أيضـاً من صياغـة مفـاهيم جـديـدة (وهي لا تقـل أهميـة عن هـذا الاكتشاف). ويقول هويويل:

إن تـاريخ العلوم الاستقـرائية هـو تاريـخ الاكتشافـات، على الأقـل فيما يختص بالوقائع التي جمعت بعضها إلى بعض لتؤلف العلم. وفلسفة العلوم الاستقـرائية هي تاريخ الآراء والمفاهيم التي تربط الوقائع بعضها ببعض.

ومن المؤكـد أن الموضـوع هو إلى حـد كبير مـوضوع كلمـات: هل نسمي استقراء مثل قانون كبلر للمدارات الإهليجية تلخيصاً للوقائـع أم نسميه مفهـوماً صنعه عقلنا وإضافة إلى المفـاهيم؟ ومن العسير جـداً أن نرسم حـداً فاصـلاً بين النظريات والوقائع يمكن تطبيقه في كل الحالات. بل إن هويويل نفسه يقول أحياناً إن الوقائع ليست إلا نظريات تم تحقيقها تحقيقاً جيداً وأصبحت مألوفة جداً لدينا. ولا شك أن هـويويل عندما أكد على دور المفاهيم التي تنتجها عقولنا، كان واقعاً تحت التأثير القوي لفلسفة كانت. ولقد سبق أن ذكرنا[١٢] أن كانت يرى أن العلم ينتج بوضع الوقائع المرئية في الموضع الملائم داخل الإطار الذي تصنعـه عقولنـا. كان كانت يعتقد أن هذا الإطار صالح للتطبيق إلى الأبد وليس عرضة للتغير بسبب أي تقدم يحرزه العلم. وكان هويويل مثل كانت يؤمن بـالأهمية الكبـرى «للمادة اللغوية» التي تفرزها عقولنا خدمة لتقـدم العلم، والتي تسهم على هـذا النحو في تحقيق فهم أفضل لبنية العلم وكيفية نموه؛ ولكنه لم يتفق مع كانت على أن الإطار المفاهيمي الذي تصنعه عقولنا إطار غير قابل للتغير. بل إن هويويل كان يرى أن هذا الإطار يتغير مع زيادة «مادة الرؤية»، وبذلك ربما كان هويويل أول من فهم نمو العلم وبنيته بالمعنى المفهوم في علوم القرن العشرين.

وأياً كان أصل هذا الرأي، فمن المفيد أن ندرس الأهمية الكبـرى لإدخال

مفاهيم ومصطلحات جديدة بالنسبة لتقدم العلوم في آفاق مجهولة. ولنبدأ مرة أخرى من قانون كبلر. إننا نلاحظ المواقع المتتابعة للكوكب في السماء ونمثلها بمجموعة من النقط فوق قطعة من الورق. فإذا نظرنا إلى هذه النقط في آن واحد ووصفناها بأنها «يمكن أن تتصل بعضها ببعض بمنحنى يسمى «القطع الناقص»، فهل قلنا أكثر مما نقول عن تعديد المواضع وسردها؟ هل يمكننا أن نستنتج جميع مواضع الكواكب بواسطة المواضع التي رؤيت دون أن ندخل مفهوم «القطع الناقص»؟ فإذا كان ما نعنيه بالاستقراء هو العملية التي نستطيع بها أن نستنبط جميع المواضع الأخرى الواقعة بين المواضع المرئية، فإننا نستطيع أن ندخل «الاستقراء بالتعديد»، وهو نوع من الامتداد التكاملي (interpolation). وإذا كان ما نعنيه «بالاستقراء» هو خلق معادلة القطع الناقص في أذهاننا وحساب كل المواضع من هذه المعادلة فيمكننا أن ندخل «الاستقراء بواسطة خلق المفاهيم». ويفضل ميل النوع الأول من الاستقراء (إلى حد ما)، بينما يفضل هويويل النوع الثاني.

وإذا صغنا البدائل على هذا النحو فسوف نخلق نزاعاً لا يمكن تسويته عملياً؛ غير أنه من اليسير أن نبين الفائدة الكبرى «للاستقراء بواسطة مفاهيم جديدة» في تقدم العلوم. وإذا اعتبرنا فقط حركة كوكب تحت تأثير جسم واحد (الشمس)، فإن المدار سيكون قطعاً ناقصاً، ولن يختلف الأمر كثيراً إذا قلنا إن جميع المواقع موجودة على قطع ناقص أو قلنا إن مفهوم القطع الناقص قد أضيف إلى المواقع (وهذه وحدها هي الحقائق التي لدينا). ولنعتبر الآن جسماً ثالثاً (ويكن كوكباً ثانياً)، فماذا يكون مدار الكوكب الأول تحت تأثير التجاذب التثاقلي مع الجسمين الآخرين؟ إذا اعتبرنا المواضع التي يمر بها الكوكب تحت هذه الظروف (ظروف ارتجاف أو اضطراب الكوكب عن فلكه المعتاد ـ perturbation ـ كما يقول الفلكيون) فلن نجد أن هناك منحنياً ملائماً يمكن أن يشتمل على هذه المواضع. والمعروف في نظرية الاضطراب هذه أنه يمكننا أن نصف هذه المواضع بأن نفترض وجود مسار إهليجي غير مستقر ولكنه يدور ويتحرك ببطء في الفضاء. ولا يمكن أن نصف ونحسب الحركة تحت تأثير الاضطراب إلا إذا بدأنا بمفهوم القطع الناقص ثم سألنا بعد ذلك كيف يتحرك هذا القطع الناقص لكي يمثل الحركة الأكثر

تعقيداً. ومفهوم «القطع الناقص» الذي لم يكن سوى أداة لتبسيط وصف الوقائع في الحركة الكوكبية البسيطة، أصبح أداة لا غنى عنها في نظرية الاضطراب لحل موضوع «الحركة الاضطرابية» وهي حركة بالغة التعقيد إذا قورنت بالحركة الكوكبية البسيطة التي يغطيها قانون كبلر.

ويقودنا هذا المثال إلى طريق عام للاستقراء يبدأ بنا من موضوعات بسيطة في الفيزياء إلى موضوعات أكثر تعقيداً. وقد أوضح الفيزيائي البريطاني الكبير جيمس كلارك مكسويل[١٣] (وهو في الحقيقة اسكتلندي الأصل) أن أول مرحلة نخطوها في دنيا المجهول هي أن نوجد مفاهيم رياضية تصف الأشياء التي نعرفها وصفاً بسيطاً على قدر المستطاع. يقول مكسويل[١٤].

> وعلى هذا فإن العملية الأولى في الدراسة الفعالة للعلوم هي أن نبسط نتائج الدراسات السابقة ونختصرها بحيث يمكن للعقل أن يستوعبها. وقد يسفر هذا التبسيط عن معادلة رياضية بحتة أو عن نظرية فيزيائية.

وقد أكد مكسويل بشدة على أن العمل المبذول في «الرياضيات البحتة» بإنتاج تعبيرات تحليلية دقيقة ورائعة، هو جزء أساسي في تقدم العلوم الفيزيائية. وإذا اقتصرنا على المعادلات الناشئة عن الرياضيات الأولية أو حتى عن حساب التفاضل والتكامل الأولي، فإن المفاهيم التي يتطلبها المزيد من تقدم العلوم لا يمكن أن نعبر عنها على نحو دقيق وموجز.

ويمكننا أن نقتبس دور «اللف (curl) أو دوران المجال المتجه» كمثال للدور الديناميكي الذي يلعبه إعداد المفاهيم الرياضية أو المنطقية. إذا كانت لدينا شحنات كهربائية ساكنة فإنها تنتج مجالاً كهربائياً يخضع لقانون كولومب الذي له نفس قالب قانون نيوتن للجاذبية؛ شدة هذا المجال هي E/r^2 عند نقطة تبعد مسافة r عن الشحنة E. يمكن استنباط مثل هذا المجال من الجهد الكهربائي V؛ فهو عبارة عن معدل تغير هذا الجهد بالنسبة للمسافة. ومن خصائص أي مجال متجه عندما يكون معدلاً لتغير الجهد أن يكون دورانه (curl) صفراً. ومن ثم فإن المعادلة «دوران المجال = صفراً» تميز المجال الالكتروستاتيكي، أي المجال الناشىء عن الشحنات الكهربائية الساكنة. واختفاء دوران المجال يماثل من الناحية

الرياضية وجود «طاقة وضع»، ويمكن حساب شدة المجال هنا إذ أنها تساوي معدل تغير هذه الطاقة بالنسبة للمسافة. وإدخال مفهوم الدوران المجالي (curl) للمجال الالكتروستاتيكي هو ترتيب رياضي بحت يتيح صياغة القوانين على نحو مختصر جداً، لكنه لا يضيف شيئاً إلى معلوماتنا الفيزيائية بشأن هذا المجال غير ما هو موجود في قانون كولومب الخاص بالقوة بين شحنتين. وقد يقول كثير من الناس إن إدخال مثل هذا المفهوم الرياضي المعقد لوصف شيء بسيط مثل المجال الالكتروستاتيكي ليس إلا نزوة من الرياضيين لا لزوم لها. ومع ذلك فإن مكسويل عندما وضع تعميمه من المجال الالكتروستاتيكي إلى المجال الكهرومغنطيسي العام فقد كان مفهوم «الدوران» (curl) هو الأداة الرئيسية التي استخدمها في هذا التعميم. افترض مكسويل أن «الدوران» لا يختفي في المجال العام كما يفعل في المجال الاستاتيكي، ولكنه يتغير مع الزمن. ويمكن صياغة فرض مكسويل بطريقة بسيطة بالنص على أن دوران المجال الكهربائي يتناسب مع معدل التغير في المجال المغنطيسي بالنسبة للزمن. وهذا هو التطبيق للفكرة العامة التي صاغها مكسويل في العبارة التي اقتبسناها سابقاً. وقد تكرر نفس الأسلوب في اكتشاف التعميمات في العلوم مراراً وتكراراً.

وهناك واحد من أوضح الأمثلة، ونعني به نظرية الجاذبية لأينشتاين، وهي تعميم للنظرية الكلاسيكية لنيوتن عن الجاذبية. وقد صاغ مينكوسكي في عام ١٩٠٨ «النظرية الخاصة للجاذبية» (التي وضعها أينشتاين عام ١٩٠٥) مستخدماً «الفضاء الرباعي الأبعاد» وحساب التفاضل والتكامل الممتد في هذا الفضاء. وفي ذلك الوقت، كان يبدو أن إدخال «الكون الرباعي الأبعاد» لم يكن سوى حيلة رياضية لكي تضفي على نظرية أينشتاين شكلاً رائعاً ومثيراً في نظر الرياضيين، بينما بدا ذلك أمراً غريباً في نظر الفيزيائيين، وبعيداً عن مفاهيم الفطرة السليمة، ومنطوياً على صعوبات رياضية لا لزوم لها. بل إن هذا كان رأي أينشتاين نفسه في وقت معين. وكما علمنا[١٥] عند دراسة نظرية النسبية، تتناول النظرية الخاصة للنسبية النظم التي تتحرك في خط مستقيم بسرعة ثابتة فقط. أما الحركة المتسارعة والدورانية فقد اعتبرها نيوتن، بل إن أينشتاين اعتبرها أيضاً في الأصل، حركة «مطلقة». ومع ذلك فقد حاول أينشتاين دائماً أن يعمم نظرية النسبية لكي يجعلها

تنطبق على الحركات غير المنتظمة. وسرعان ما وجد أن الصيغة الأصلية للنظرية الخاصة - التي استخدمت فقط التمثيل التقليدي بالإحداثيات الثلاثية الأبعاد وإحداثي واحد للزمن - كانت شديدة التعقيد بحيث كان من العسير أن يتبين كيف يمكن أن يجري هذا التعميم. وعلى أية حال، فقد لاحظ أينشتاين أنه باستخدام التمثيل الرباعي الأبعاد لمينكوسكي، يتيسر تعميم النظرية الخاصة للنسبية بحيث تشمل الحركات المتسارعة والحركات الدورانية. أما «الاستقراء» الذي زودنا بالنظرية العامة للنسبية فقد كان متاحاً بفضل الشكل الرائع والبسيط الذي اتخذته «النظرية الخاصة» بواسطة التمثيل الرباعي الأبعاد للزمان والمكان الذي وضعه مينكوسكي.

وعلى أية حال، فنحن لسنا مضطرين إلى التعمق في النظريات الصعبة للفيزياء الحديثة؛ فالنظرية الكوبيرنيكية للحركة الكوكبية تقدم لنا أعظم مثال على ما يمكن أن يتحقق من فوائد بفضل النموذج الرياضي الرائع. عندما قدم كوبيرنيكوس نظامه الخاص بالمدارات المتحدة المركز حول الشمس أدرك كل إنسان أن هذه خطة رياضية أرقى بكثير من خطة بطليموس الخاصة بالدوائر وبأفلاك التدوير حول الأرض. ولكننا لا نحكم ولم نحكم على قيمة النظريات على أساس بساطتها فقط؛ إننا نحكم عليها أيضاً على أساس تقاربها مع «الحقيقة». وإذا أهملنا «الحقيقة الفلسفية» كضابط «للحقيقة العلمية» والتزمنا بالحقيقة العلمية فقط فسوف يمكننا أن نقارن بين صدق النظريات العلمية وفقاً لما تقدمه من فوائد لتقدم المعرفة. وسوف نفضل النظرية التي يمكن تعميمها أكثر من غيرها، والتي يمكن، بالتالي، أن تشمل عدداً أكبر من الوقائع المرئية. فبينما كان النظام البطليموسي يتفق كثيراً مع حركة الكواكب إذا تجاهلنا التأثير المتبادل بين بعضها والبعض، فإن النظام الكوبيرنيكي كان منطلقاً جيداً لدراسة كيف يتأثر المدار الدائري، مثل مدار الأرض، بقوة التجاذب مع غيرها من الكواكب، مثل المشتري. وعندما يحسب هذا التفاعل بواسطة النظرية الكوبيرنيكية، فإن النتيجة يمكن أن تترجم بالطبع في نظرية بطليموس بحساب مدارات جميع الكواكب المعنية بالنسبة للأرض. غير أن هذه المدارات ستكون معقدة بحيث لن يمكن ايجادها عملياً إذا بدأنا من أفلاك التدوير البطليموسية. ويتضح لنا أن أفضلية النظام الكوبيرنيكي ترجع إلى ملاءمته

للتعميم. وقد عرفنا أن هذه الملاءمة ترجع إلى تميزه بقدر كبير من البساطة والروعة الرياضيتين. وندرك الآن أن البساطة الرياضية الفائقة قد جعلت من النظام الكوبيرنيكي نظاماً متفوقاً ليس فقط بسبب صفاته الجمالية، مثل الروعة، ولكن أيضاً بسبب «نوعيته الديناميكية»، أي بملاءمته للتعميم.

ونعلم من الهندسة[١٦] أنه إذا كانت الهندسة الأوقليدية صالحة للتطبيق فإن مجموع الزوايا في أي مثلث مستو يكون ١٨٠°، أو إذا كانت الزوايا هي γ ، β، α فإن «الخلل» Δ يكون $\Delta = 180^0 - (\alpha + \beta + \gamma) = 0$ وقد علمنا أيضاً معنى «إنحناء الفضاء» (C)، وهو الخلل لوحدة المساحة $C = \Delta / a$ وقد نجح الرياضيون في استنباط معادلة رائعة جداً لانحناء الفضاء (C). ولم يعر الفيزيائيون اهتماماً كبيراً إلى هذه المعادلة لأن C تساوي صفراً في الفضاء الأوقليدي ـ وكل فضاء قد اعتبر فضاءً أوقليدياً ـ وعلى أية حال، فإن المعادلة التي لم تكن في الهندسة الأوقليدية شيئاً أكثر من رمز رياضي هام بسبب بساطته وروعته، أصبحت الأداة الرئيسية في اكتشاف وتقديم النظرية العامة للنسبية. ويمكننا الآن أن نصوغ الفرض الأساسي لنظرية الجاذبية لأينشتاين بأن نفترض أن انحناء الوجود المتواصل الزماني المكاني الرباعي الأبعاد يتناسب مع الكتل التثاقلية الموجودة في هذا المكان. مثل هذا الفرض لم تكن صياغته لتتحقق لو لم يضع الرياضيون معادلة C تحت تصرف الفيزيائيين. وهنا يتضح لنا مرة أخرى كيف أن الصياغة الرياضية المناسبة والبسيطة لوقائع المعرفة تكون هامة جداً بالنسبة لاكتشاف وقائع جديدة وأكثر تعميماً. إن «استنباط» المعادلات الرياضية الملائمة هو أساس لا غنى عنه في «الاستقراء» الذي يعلمنا تعميمات جديدة، ومن ثم وقائع جديدة.

٤ ـ المفاهيم والتعريفات التشغيلية

رأينا في تحليل الهندسة، وقوانين الحركة، وحركة الأشياء الذرية، واللغة الجديدة للدنيا الذرية، قوانين السببية (من الفصل ٣ إلى الفصل ١٠) ـ أننا لا يمكن أن نختبر نتائج الاستقراء بواسطة التجربة إلا إذا كانت المفاهيم في هذه التجربة «تعريفاً تشغيلياً»[١٧]. فالمفهوم (مثل «الطول») يكون له معنى تشغيلي إذا أعطينا «تعريفاً تشغيلياً» لهذا المفهوم. ومعنى هذا أن علينا أن نصف مجموعة من

العمليات الفيزيائية التي يجب أن نجريها لكي نعين في كل حالة مفردة قيمة محددة تحديداً فريداً لهذا المفهوم (وعلى سبيل المثال، قيمة طول قطعة حديدية مفردة). ونحن نعلم أن «الطول» يتوقف على درجة الحرارة، والضغط، والشحنة الكهربائية. وخواص فيزيائية أخرى. ونعلم، منذ وضع أينشتاين نظرية النسبية، أن طول الجسم «يتغير» مع تغير سرعته. ومن ثم فإن وصف العملية التي نقيس بها الطول يتضمن أيضاً العمليات التي نحفظ بها كلًا من درجة الحرارة والضغط والسرعة، إلخ، عند قيم ثابتة. أو بعبارة أخرى، فإن التعريف التشغيلي للطول يتضمن أيضاً تعريفات تشغيلية لدرجة الحرارة والضغط والسرعة الخ. ولكي نعرف كيف نقيس الطول، مع الاحتفاظ بثبات درجة الحرارة والضغط والسرعة، الخ. يجب أن نكون ملمين بقوانين فيزيائية عديدة. ومن ثم فإن كل تعريف تشغيلي لأي قيمة مفردة مثل «الطول» يجب أن يفهم على أنه تعريف تقريبي. وبعبارة أخرى، لا يمكننا أن نصف مجموعة من العمليات التي تعطي تعريفاً تشغيلياً لكمية مفردة مثل «الطول» أو «المسافة الزمنية» إلا تحت ظروف مفضلة.

أجرى ب. و. بريدجمان[١٨] دراسة ممحصة وذكية للظروف التي يجب أن يوضع في ظلها تعريف للمفاهيم الرئيسية في الديناميكا الحرارية (مثل درجة الحرارة، وكمية الحرارة الواردة، والطاقة الميكانيكية، الخ) بواسطة مجموعة عمليات من النوع الفيزيائي أو نوع «القرطاس والقلم». ومن الواضح أننا لا يمكننا أن نجري قياس درجة الحرارة إذا كانت هناك تغيرات كبيرة خلال فترات زمنية ومكانية صغيرة. وإذا أردنا قياس كمية الحرارة Q التي يتلقاها جسم خلال مساحة معينة يمكننا تطبيق الطريقة التقليدية لقياس كميات الحرارة. وعلينا عندئذ أن نفترض أن الحرارة تتدفق خلال السطح تدفقاً هادئاً منتظماً دون تحرك يذكر من جانب المادة داخل الجسم. ومن ناحية أخرى، فإننا نصف الشغل الميكانيكي الذي يبذل بأنه حاصل ضرب الضغط في الزيادة في الحجم. وهذه العلاقة صحيحة فقط إذا لم تكن هناك دفعة (ناشئة عن قوة مفاجئة) أو حركة مضطربة للكتل داخل الجسم. كتب بريدجمان يقول[١٩]: «لا يمكن إجراء تحليل دقيق لتدفق الحرارة أو الطاقة الميكانيكية إلا في ظروف استثنائية جداً» ويتناول بريدجمان، كمثال على ذلك، التجربة الأصلية التي أجراها جول ليصف بها

المكافىء الميكانيكي للحرارة بواسطة رفع درجة حرارة إناء من الماء يتقلب بواسطة بدالات مغمورة فيه. وتحويل الطاقة الميكانيكية للبدال إلى طاقة حرارية للماء هو ظاهرة انحطاطية إلى ما إذ تنطوي على تحويل حركة على مستوى كبير إلى اضطرابات على مستوى الذرة في نهاية الأمر. ويؤكد بريدجمان على أنه من الصعب تحليل ما نراه في الحرارة والشغل الميكانكي؛ فلا شك أن النتيجة سوف تعتمد على مقياس أجهزة القياس. و«دراسة أكثر الحالات تعميماً حيث يكون هناك معنى لتدفق الحرارة وللشغل، سيكون أمراً بالغ الأهمية. إلا أن أحداً لم يحاوله حتى الآن فيما أعلم». وبالرغم من أن هناك معنى تشغيلياً لمفهوم مثل «تدفق الحرارة» و«الشغل» في ظروف خاصة «هادئة» فقط، فإننا نستطيع استخدامها كمفهومين أساسيين في إجرائنا للتجارب الفيزيائية؛ فالقوانين التي يخضعان لها لا تنطبق إلا في هذه الظروف «الهادئة» التي بمقتضاها يتخذ كل من مفهوم «تدفق الحرارة» و«الشغل» معناه التشغيلي. فإذا طبقنا القانون الأول للديناميكا الحرارية مثلاً على حالة البدال، فإننا نرسم سطحاً حاجزاً حول منطقة الاضطراب» على مسافة تسمح بأن تعرف عندها الحرارة والشغل على النحو الممكن». وهنا ينبؤنا القانون الأول بأن الحرارة الداخلة في عملية دائرية تساوي الشغل الخارج من هذه العملية. ونحن نلتقي بوضع مماثل لهذا الوضع في كل مجالات الفيزياء، بل في كل مجالات العلوم في واقع الأمر. فكل «التعريفات التشغيلية» مقصورة على ظروف «هادئة» و«مبسطة». بل إننا يمكننا أن نذهب إلى أبعد من ذلك. فمن اليسير أن نرى أنه لا يمكن عملياً أن نبني «تعريفات تشغيلية» في مجالات التجربة التي لا نعرف لها قوانين فيزيائية.

ومن الاعتراضات الرئيسية التي أثيرت ضد مفهوم «المعنى التشغيلي» منذ اقترحه بريدجمان هو أننا لا يمكننا مثلاً أن نؤلف «تعريفاً تشغيلياً» «للطول» ما لم يكن قد اختمرت في ذهننا فكرة ما عن الطول. ويبدو أن لهذا الاعتراض نصيباً معيناً من الصحة ما لم ندرس التركيب الفعلي للتعريفات التشغيلية بمزيد من الشمول. ويمكننا أن نبدأ من الفارق الزمني بين لحظتين زمنيتين. ويمكننا على سبيل المثال أن ندرس فسحة الزمن بين بداية ونهاية محاضرة محدد لها مدة ساعة واحدة. التعريف التشغيلي لهذه الساعة هي قراءة الزاوية التي يقطعها عقربا الساعة المعلقة

على الحائط. والزاوية التي يقطعها العقرب الكبير تساوي ٣٦٠°. وعلى أية حال ليس هذا تعريفاً اعتباطياً. فيجب أن نتأكد أن الساعات في جميع قاعات الدراسة تشير إلى نفس الزمن، وأن ساعات الجيب عند المدرسين والطلاب تشير أيضاً إلى نفس الزمن. وسيان كانت ساعات الحائط أو ساعات الجيب تعمل بواسطة الأثقال الهابطة أو بواسطة الزنبركات المرنة. وهذا يوضح أن التعريف التشغيلي للساعة بالزاوية التي يقطعها عقرب الساعات على اختلاف احجامها وتصميماتها تشير إلى نفس المدة الزمنية. وهذا هو الحال فقط إذا كان هناك قانون فيزيائي يربط بين تذبذبات البندول تحت تأثير الجاذبية وبين تذبذبات الزنبرك الشعري تحت تأثير المرونة. وهذا قانون في الميكانيكا. وفضلاً عن ذلك، فإن كل الساعات الميكانيكية تعطي تعريفاً للمسافة الزمنية يتيح لنا صياغة قوانين لانتشار الضوء أو الموجات الكهرومغنطيسية بطريقة بسيطة جداً. ومن ثم فإن المسافات المكانية التي يقطعها الضوء يمكن أن تستخدم كتعريفات تشغيلية للمسافة الزمنية. وتتوقف فائدة كل هذه التعريفات التشغيلية للزمن على أن الفسحات الزمنية المتساوية بصرف النظر عن التعريف التشغيلي الذي نستخدمه للزمن. ولذلك فإنه من الخطأ أن يقال إنه كان لدينا مفهوم أصلي للزمن ثم استحدثنا تعريفات تشغيلية بهدف قياس هذا الزمن. أما الحقائق الأساسية فهي في الواقع تلك النتائج المتماثلة للقياسات بمختلف التعريفات التشغيلية الأمر الذي يمكننا من أن نتصور فسحة زمنية لا تتحدد بواسطة تعريف تشغيلي معين بواسطة مجموعة كبيرة من التعريفات المشتملة على عمليات تختلف كثيراً في نوعياتها.

ومع ذلك فقد يعترض كثير من الفلاسفة، بل ومن العلماء أيضاً، بأن هناك شعوراً فورياً بالزمن، بالإضافة إلى كل هذه التعريفات بواسطة العمليات الفيزيائية؛ فنحن نستطيع أن نقدر الفترة الزمنية التي استغرقتها المحاضرة وذلك بواسطة عملية ذهنية معينة. ويمكننا أن نقارن، ذاتياً بين هذا الزمن الذي قدرناه بمداركنا وبين الفترة التي قيست لنفس المحاضرة بواسطة الساعات الزنبركية أو البندولية أو بواسطة انتشار الضوء. ويميل بعض المؤلفين إلى القول بأن طول الفترة الزمنية الذي يعرف بواسطة الرؤية المباشرة هو الطول «الطبيعي» لهذه الفترة، أما التعريفات التشغيلية بواسطة الساعات باختلاف أنواعها فهي «اصطناعية» وإذا

أولينا الأمر مزيداً من التمعن، فسرعان ما ندرك أن تعريف الفترة الزمنية بواسطة «إحساسنا الذاتي بالزمن» هو واحد من التعريفات التشغيلية الممكنة. وإذا اعتبُرنا الكائن البشري جهاز قياس، فإن تقديره للفترة الزمنية، أي رد فعله بالنسبة لتجربة المحاضرة التي تستغرق ساعة، يناظر تماماً قراءة المؤشر على ميناء الساعة الميكانيكية. وكما أن هناك أنواعاً مختلفة من الساعات الميكانيكية، فهناك طرق مختلفة للتقديرات الذاتية. فتقدير المدة التي استغرقتها المحاضرة يمكن أن يستند إلى درجة الضجر التي وصل إليها المستمعون، أو درجة الانهاك البدني، أو الجوع، أو العطش، أو التشوق إلى صحبة طيبة. وتستمد الساعات الميكانيكية فائدتها من اتفاقها مع التقدير «الذاتي» للزمن. فإذا لم يكن الطلبة قد انهكوا إلى نفس الحد من المحاضرة التي استغرقت ساعة واحدة طبقاً لما تبينه الساعات الميكانيكية فلن تكون للتعريف التشغيلي لهذه الساعات قيمة عملية. ومن ثم فإن كل التعريفات التشغيلية لفترات الزمن، سواء كانت موضوعية أو «ذاتية»، لن تكون مفهومة إلا إذا وجد أن فترتين زمنيتين متساويتين طبقاً لأحد التعريفات التشغيلية تكونان أيضاً متساويتين تقريباً طبقاً لتعريف آخر. ويصح تطبيق المتساويات بالطبع بسبب قوانين معينة للحركة. فبينما يتذبذب البندول عدداً معيناً من التذبذبات، تكون كمية معينة من الماء قد تسربت من الإناء، أو تكون الطائرة أو أشعة الضوء قد قطعت مسافة معينة، وهكذا. وعلى أية حال، فإن جدوى هذه التعريفات تتوقف على قوانين الفسيولوجيا (علم وظائف الأعضاء) والسيكولوجيا (علم النفس). ففي الوقت الذي يقطع فيه عقربا الساعة زاوية معينة، يكون مستمعو المحاضرة قد أصابهم الإنهاك إلى حد معين. ونرى من كل هذه الاعتبارات أن التعريفات التشغيلية «للفترة الزمنية» لا تفترض مسبقاً وجود «مفهوم ذهني سابق للفترة الزمنية». وأحرى بنا أن نقول إن المفهوم «الذهني» للفترة الزمنية هو «تعريف تشغيلي» تماماً مثل ما هو تعريف فيزيائي. ولم يستخدم التعريف الأخير إلا لأن تعريف التقدير الذاتي قد ثبت أنه غير عملي بالنسبة لبعض الأغراض. فنحن لا يمكننا أن نشترط أن المحاضرة يجب أن تستمر إلى أن يصاب المستعمون بالإنهاك أو الضجر إلى حد معين، أو حتى ان ينبض قلب كل من المستمعين بنفس عدد النبضات لقلوب الآخرين. ولا تصبح هذه التعريفات للفترة الزمنية تعريفات

عملية مثل التعريفات بالسعة الميكانيكية إلا إذا عرفنا كل المتغيرات التي يعتمد عليها الإنهاك والضجر وتردد نبضات القلب، وإذا استطعنا أن نحافظ على بعضها عند قيم ثابتة على نفس النحو الذي نحافظ به على ثبات درجة الحرارة والضغط عندما نعرف «الطول». ومن قبيل الثرثرة يمكننا أن نقول إذا كنا نعرف قوانين نحسب بها قدرة المحاضرين على اجتذاب اهتمام المستعمين، فإننا نستطيع أن نستخدم درجة الضجر الذي يصيب المستمعين على أنها تعريف تشغيلي للمسافة الزمنية.

ويتضح من كل ذلك أن كل تغير يطرأ على معرفتنا بالقوانين الطبيعية لا بد أن ينتج عنه تغير في التعريف التشغيلي الذي نستخدمه. فقد عرفنا مثلاً أن تقلص الأجسام بسبب تحركها يقتضي تغيراً في «التعريف التشغيلي» للطول؛ فهذا التعريف يجب أن يتضمن الآن سرعة الجسم الذي يريد تعريف طوله. وبنفس الطريقة، إذا عرفنا كيف يتأثر المستمعون بدرجة الحرارة في قاعة الدراسة فسوف يقتضي ذلك أن ندخل تغييراً في التعريف التشغيلي للفترة الزمنية بواسطة درجة الضجر التي تعتري المستمعين خلال هذا الزمن. ومن كل هذه الاعتبارات يتضح أن التطورات في «التعريفات التشغيلية» يرتبط ارتباطاً وثيقاً بمعرفتنا بالقوانين الفيزيائية.

٥ ـ الاستقراء بواسطة الحدس والاستقراء بواسطة التعديد والسرد.

كثيراً ما نجد بين ما يقدم في عصرنا هذا من فلسفة العلوم من يؤكد على أن هناك طريقتين مختلفتين، بل وغير متوائمتين، لوضع القوانين العامة للطبيعة: وهما «الاستقراء» و«الحدس». وتتمثل الطريقة الأولى في تجميع مجموعة من الأحداث المرئية يمكن التعرف فيها على بعض تعاقبات الأحداث التي يتعاود وقوعها مراراً وتكراراً، مثل التغير الضوئي للنور والظلام الذي خبرناه في حياتنا اليومية، ومثل مسار المقذوف بعد أن نطلقه بسرعة معينة، الخ. وما يعنيه هنا «بقانون الاستقراء» هو التأكيد على أنه بعد مشاهدة هذه الانتظامات في تعاقب الأحداث خلال التكرارات العديدة، دون وقوع استثناء، أو بوقوع استثناءات طفيفة، فإن هذا الانتظام سوف يستمر إلى ما لا نهاية طالما أن الظروف المحيطة لا يطرأ عليها تغيير.

ونحن نؤمن بأن تعاقب الليل والنهار لن يتوقف أبداً، وأن القذيفة التي تطلق بسرعة معينة سوف تتخذ دائماً نفس المسار. وهنا نرى أن «قانون الاستقراء» و«قانون السببية» يذكران أساساً نفس الشيء. فمشاهدتنا للانتظامات في الطبيعة تؤدي بنا إلى وضع القوانين الطبيعية عن طريق «الاستقراء». وقد سميت هذه الطريقة للوصول إلى القوانين العامة بالطريقة العلمية بمعناها الحديث، ونعني بها الطريقة الوضعية، خلافاً للطريقة الأرسطوية في اشتقاق القوانين العامة من المبادىء الجلية للفطرة السليمة.

وتحاول الطريقة الثانية لإيجاد القوانين العامة أن تحدد هذه القوانين بواسطة ما يمكن أن نسميه «الحدس» أو «التخيل» أو ربما «التخمين»، وأن نختبر نتائج هذا الحدس بمقارنتها بالمشاهدات الحسية الواقعية. وكما سبق أن عرفنا (القسم ٣) يرى هويويل أن هذه الطريقة كانت هي الإجراء المتبع فعلاً في تاريخ العلوم لإكتشاف القوانين الجديدة. ويقودنا هذا الإجراء أيضاً رؤية الوقائع المفردة إلى نص القوانين العامة، إذ لا يمكن التخمين بقانون عام قبل رؤية عدد معين من الوقائع المفردة. ومن ثم فإن هذا الإجراء يسمى «استقراء»، وهنا يمكن أن نميز بين نوعين من الاستقراء: الأول هو «الاستقراء بالتعديد والسرد» أي وضع القوانين عن طريق مشاهدة عدد كبير من تعاقب الأحداث، والثاني هو «الاستقراء بالحدس» أو «التخيل»؛ وهو اكتشاف القوانين ببناء «مفاهيم جديدة» تأسيساً على عدد صغير نسبياً من المشاهدات، ثم تحقيق القانون بواسطة عدد كبير من المشاهدات.

وإذا اتفقنا مع رأي هويويل، فيمكننا أن نقول إن العلوم الحديثة تسلك على نحو ما، طريقاً مشابهاً للطريق الذي سلكته العلوم القديمة (القسم ١). فهي تبدأ من مشاهدات واقعية قليلة نسبياً، ثم تحاول عن طريق «التخيل» أو «التخمين» أن تضع قانوناً بسيطاً يمكن أن تستنبط منه هذه المشاهدات. وإذا كان هذا القانون بسيطاً بشكل واضح فإن العالم يطمئن إلى أنه يمكن أن يستنبط منه عدداً كبيراً آخر من الوقائع المرئية. وتسجيل عدد كبير من الوقائع المرئية لا يسهم كثيراً في اكتشاف القانون، ولكنه أمر لا غنى عنه لتبرير القانون وتخفيفه. ونحن نقبل القانون العلمي إذا أتاح لنا أن نستنبط من معادلة بسيطة عدداً كبيراً من الوقائع المنظورة

التي تبدو غير مترابطة. ولا يمكننا أن نستنبط قانوناً علمياً من مجرد ظهور تعاقب المرئيات مراراً وتكراراً. فنحن نواجه نفس الصعوبة التي واجهتنا في نظرية السببية. فليس هناك واقعة مرئية تكرر نفسها تماماً؛ إن بعض المركبات الخاصة في هذه الواقعة هي التي تتكرر. والسؤال الذي يطرح نفسه دائماً هو: ما هي المركبات التي إذا كثر تكررها، فإنها تتيح لنا أن نستنتج أن هناك انتظاماً دائماً. فإذا أطلقنا قذيفة فإن إعادة الموضع الابتدائي لا يبيح لنا أن نستنتج أن المسار سوف يتكرر أيضاً؛ لكن إذا تكرر كل من الموضع والسرعة (السرعة والاتجاه)، فإن المسار ككل سوف يتكرر. وعلينا في كل هذه الحالات أن نكتفي بقانون فيزيائي. فتعاقب الليل والنهار لا يتيح لنا أن نستنتج التكرار الدائم إلا لأننا نعتبر هذا التكرار ناتج عن قانون فيزيائي، ونعني به الدوران المنتظم للأرض حول محورها. ونوع من الاستقراء الذي نستدل فيه من التكرار الذي يقع كثيراً على تكرار دائم، يسمى «استقراء» في معظم الكتب الشائعة والمدارس الأولية. ويسميه ريشينباخ «استقراء بالتعديد والسرد». ويؤكد ريشينباخ على أنه بمثل هذا «التعديد والسرد» لا يمكننا إيجاد قوانين جديدة. كتب ريشنباخ يقول[٢٠]:

> **عندما يكتشف العالم إحدى النظريات فإنه عادة يسترشد في هذا الاكتشاف بالتخمين؛ وهو لا يمكن أن يحدد الطريقة التي استطاع بها أن يجد النظرية، وكل ما يستطيع أن يقوله هو أنه بدا له أن إحساسه الباطني إحساس سليم، أو أنه رأى عن طريق الحدس ما هي الافتراضات التي تتلاءم مع الوقائع.**

وكما علمنا في مناقشاتنا السابقة (القسم ٢، ٣)، حاول جون ستيوارت ميل أن يبين أنه يمكن إيجاد النظريات الجديدة من خلال «الاستقراء بالتعديد والسرد»؛ أما هويويل، الذي درس أصل النظريات دراسة شاملة فقد كان أقرب إلى نقد هذه المحاولات، وعزا النظريات الجديدة إلى «التخمينات»، والإلهام الباطني، والحدس» (إذا اقتبسنا تعبيرات ريشنباخ). وقد وصف ميل[٢١] إجراءات الاستقراء على النحو التالي:

> **نحن نلاحظ أن وقوع كل مجموعة ABC تعقبها مجموعة abc، وأن كل مجموعة ABD تعقبها مجموعة abd. وعندما نشهد حدوث هذا التعاقب مرات عديدة فإننا نستدل منه على أن D هي «السبب» في d وأن d هي «نتيجة» D.**

ويعقبه هويويل[٢٢] على هذا «الاستقراء بالتعـديد» أو بكثـرة تكرار نفس التعاقب قائلاً:

والشيء الواضح الذي نلاحظه بصدد هذه الطرق هو أن نفس الشيء الذي يكون اكتشافه من أصعب الأمور، تعتبره شيئاً مسلماً به، وتحيل الظواهر إلى معادلات مثل تلك الذي ذكرناها.

وهو يضرب أمثلة عـلى ذلك «بـالاستقراء» الـذي أدى إلى اكتشاف بعض القوانين الفيزيائية المفردة:

إذا تأملنا الوقائع الماثلة في المسارات الفلكية، أو الأجسـام الساقـطة، أو الأشعة المنكسرة، أو التحركـات، أو التحليل الكيميـائي... فأين نبحث عن ABC، abc؟ إن الطبيعة لا تتمثل حالاتها على هذا الشكل.

وينبهنا هويويل إلى أنه حتى بعد اكتشاف النظريات فإنه يكون من العسـير جداً أن نحدد عناصر ABC، abc في تاريخ العلوم. «من ذا الذي سيضع هـذه الصيغ عبر تاريخ العلوم على النحو الذي نشأت ونمت عليه؟» يؤكد عـالم الفلك الشهير جون هيرشيل[٢٣] تأكيداً شديداً على أن المهم في الاكتشافات العلمية هـو إيجاد الصيغ، إذا أمكن إيجاد صيغة بسيطة تغطي مجالاً عريضاً للمشاهدات، فإننا لن نسهم كثيراً في الإيمان بصلاحية هذا النص إذا أضفنا عدداً كبيراً من الوقائـع المفردة والحقيقية التي يمكن استنباطها من هذه الصيغة. كتب هيرشيل يقول: «لا شك أننا نستفيد كثيراً من مثل هذه الاستدلالات؛ لكن الصعوبة في الفيزياء هو إيجاد مثل هذه الصيغة، وليس فهم شكلها بعد إيجادها».

والإيمان بالاكتشاف من خلال مشاهدة عدد ضخم من الوقائع المرئية كثيراً مـا نظر إليـه باعتبـاره من خصائص «المـذهب الوضعي» أو بـالأحـرى «التنـاول الموضوعي» للعلوم (التي تعني بالظواهر والوقائع اليقينية فحسب).

ويبدو لي أن هذا الرأي قائم على دراسة سطحية جـداً للمذهب الـوضعي وفلسفته العلمية. وإذا درسنا ميول العلماء تجاه النزعات الوصفية عند نهاية القرن (١٩٠٠)، فسوف نجد أن الفيزيائي أرنست ماسن كان أقوى الشخصيات في هذه الفترة. وقد ساق آراءه عن الاستقراء (وهي في الواقع مثل آراء هويويل)، وذلك

في كتابه، حيث قال[٢٤]:

> إن العملية الذهنية التي ينجز بها المرء مفاهيم جديدة، والتي يشير إليها عموماً بالاسم غير الملائم «الاستقراء»، ليست عملية بسيطة وإنما هي عملية بالغة التعقيد. وهي، في المقام الأول، ليست عملية منطقية بالرغم من أن مثل هذه العمليات يمكن إدخالها كروابط وسطى ومساعدة. فالمجهود الرئيسي الذي يؤدي إلى اكتشاف معرفة جديدة إنما يرجع إلى التجريد والخيال.

وقد أكد هويويل نفسه على أن الطريقة لا يمكنها أن تقدم كثيراً في هذا الشأن. ونجد في كتاب ماسن تأكيداً على الدور الابتدائي الذي يلعبه توحيد الأفكار وتبسيطها في اكتشاف القوانين العلمية الجديدة (وهو هنا يشاطر هويويل الرأي). كتب ماسن:

> يوجه المرء انتباهه إلى ما وراء الوقائع مرة بعد أخرى، مسترشداً باهتمامه بمعرفة كليات الأشياء، سواء كانت هذه الوقائع إحساسات صريحة أو كانت تنتمي إلى دنيا المزاعم. . . وقد يستطيع المرءعندئذ، في إحدى اللحظات السعيدة، أن يتدبر الفكرة البسيطة والخصبة.

وقد ركز الفيلسوف السويدي الف نيمان[٢٥] على الصلة الوثيقة بين الاستقراء والحدس في بحث نشره بعنوان «الاستقراء والحدس». حاول نيمان أن يربط بين الرأي الذي قدمه الفيلسوف السويدي هانز لارسين[٢٦] في كتابه Intuition ورأي علماء مثل هويويل، وهيرشل، وماسن.

بالرغم من أن «الاستقراء بالتعديد والسرد» ليست له أهمية ابتدائية في اكتشاف النظريات الجديدة، فإن من الخطأ الفاحش أن ندعي أن «الاستقراء بالتعديد والسرد»، أي الاستقراء القائم على تكرار التعاقبات، ليست له أية أهمية في العلوم. كتب ريشنيباخ يقول[٢٧]: «إن العالم الذي اكتشف نظريته من خلال التخمين هو نفسه العالم الذي لا يقدم هذه النظرية إلى الآخرين إلا بعد أن يرى الوقائع تزكي تخمينه». وقد بذل ريشينباخ جهداً كبيراً ليبين أن طريقة هذه التزكية تقوم على تكرار التعاقبات. إذا تنبأت النظرية بهذا التكرار فإن قبول النظرية يكون له ما يبرره إذا أمكن رؤية عدد كبير من هذه التكرارات. وكلما زاد عدد التكرارات

المستنبطة التي تتم رؤيتها فعلاً، كلما زادت احتمالات صلاحية النظرية. وربما كان هانز ريشنباخ قد بذل جهداً أكثر مما بذله أي شخص آخر لكي يحسب احتمالات النظرية من التكرارات المرئية للوقائع المستنبطة. وهو يميز تمييزاً واضحاً بين الكلام عن الاكتشاف والكلام عن التزكية. ففي الأول، يبدأ الاستقراء بتخمين مفاهيم جديدة؛ وفي الثاني يبدأ بمشاهدة تكرار الوقائع. وبينما لا يمكن أن يجري الأول بواسطة خطة أو طريقة، فإن الثاني يستخدم طريقة «الاستدلال الاستقرائي». فإذا بدأنا من المواضع المرئية للكواكب في السماء، فإننا يمكننا أن نوجد قوانين الحركة لنيوتن بواسطة «الحدس» أو «التخمين». وإذا عرفنا قوانين نيوتن فيمكن أن نتساءل إلى أي حد يمكن تدقيق هذه القوانين المعروفة وجعلها قوانين معقولة بواسطة الوقائع المرئية.

وعلينا أن نعدد أكبر عدد ممكن من الوقائع التي يمكن استنباطها من القوانين واختبارها عن طريق المشاهدة. وكلما زاد عدد المشاهدات ذات النتائج الايجابية، كلما زادت احتمالات وضع النظرية بواسطة هذه الوقائع المستنبطة. ولهذا السبب تنتمي دراسة «الاستدلال الاستقرائي» إلى نظرية الاحتمالات. ومن الخطأ أن نعتقد بوجود تماثل شديد بين الاشتقاق والاستقراء: فالوقائع تستنبط ببساطة من النظرية بواسطة الاشتقاق، ولكن النظرية لا يمكن أن يستدل عليها ببساطة من الوقائع بواسطة الاستقراء. كتب ريشينباخ: «يمكن للوقائع المرئية أن تصنع من النظرية شيئاً محتملاً فقط، ولكنها لا يمكن أن تؤكدها تأكيداً مطلقاً». وبينما يمكن استنباط النتائج المشروطة بصلاحية نظرية معروفة، استنباطاً يقينياً بواسطة إجراءات المنطق الاستدلالي، فإن النظريات الجديدة تبنى على «مبدأ الاستقراء» الذي يؤكد على أنه إذا كانت هناك سلسلة طويلة من الأحداث ووجد أن حدثاً معيناً منها يعاود الوقوع مراراً بتردد معين (مثلاً رقم ١ عند إلقاء النرد ـ أي زهر الطاولة) فإن نفس التردد تقريباً سوف يستمر في المستقبل. وهذا هو أبسط أنواع التنبؤ بواسطة الاستدلال الاستقرائي، ويسمى «الاستقراء بواسطة التعديد والسرد» كما ذكرنا من قبل. وهنا بالطبع يثار التساؤل عما إذا كان كل استدلال استقرائي يمكن أن يؤدي إلى «استقراء بواسطة التعديد والسرد». كان هذا هو رأي ميل على وجه التأكيد. وقد نص ريشينباخ بصراحة على أن كل أشكال الاستدلال

الاستقرائي يمكن أن تتحول إلى استقراء بواسطة التعديد، بل إن مثل هذا التحول يمكن إثباته. وصلاحية هذه الدعوى ليست شديدة الوضوح لأننا نستطيع بسهولة أن نذكر أمثلة تؤدي إلى نتائج خاطئة. فالأوروبيون ظلوا قروناً عديدة لا يرون غير طائر البجع الأبيض، ومن الطبيعي أنهم استخلصوا من ذلك استدلالاً استقرائياً بأن «كل البجع أبيض اللون». وفي يوم ما اكتشف البجع الأسود في استراليا؛ وقد أدى الاستدلال الاستقرائي إلى نتيجة زائفة. فهل يجب علينا الآن أن نقول إن هذا المبدأ زائف أو، على الأقل، إنه غير صالح للتطبيق في كل حالة؟ ويحاول ريشينباخ أن يبين أن مبدأ الاستدلال الاستقرائي قد طبق تطبيقاً خاطئاً ومبالغاً فيه، لكن المبدأ نفسه مبدأ سليم. وقد كتب يقول:

> **في الواقع أن أفراد الأنواع الأخرى من الطيور ذات ألوان متعددة؛ ولذلك فقد كان على رجل المنطق أن يعترض على الاستدلال قائلاً إنه إذا كان اللون يتعدد بين هذه الأنواع، فقد يتعدد أيضاً بين البجع.**

ويكون الاستدلال الاستقرائي بواسطة التعديد هو عندئذ: نشاهد مراراً وتكراراً أن أفراد نوع معين لهم ألوان مختلفة، ونستدل من ذلك على أن كل الأنواع تكون كذلك أيضاً. ويبين المثال أنه يمكن تغيير أحد الاستقراءات بواسطة استقراء آخر. وفي الواقع أننا لا نجري كل الاستدلالات الاستقرائية على نحو منفصل، ولكنها تجري في نطاق إطار استقراءات عديدة.

وهذه الدعوى بقابلية التحول إلى استقراء بواسطة التعديد تؤدي بالتأكيد إلى نظرية غاية في البساطة عن كيفية بناء استدلالات استقرائية من أنواع بسيطة جداً. وعلى أية حال، فإن أمامنا شوطاً بعيداً نقطعه حتى نفهم «طريقة الاستدلال الاستقرائي» التي تؤدي بنا من مشاهدة الكواكب إلى قوانين الحركة لنيوتن[٢٨].

٦ ـ حواشي الفصل [١٣]

١ ـ جون ستيوارت ميل (١٨٠٦ ـ ١٨٧٣) فيلسوف واقتصادي بريطاني ظهر كتابه «System of logic» عام ١٨٤٣.

٢ ـ وليام هويويل (١٧٩٤ ـ ١٨٦٦) فيلسوف بريطاني ومؤرخ للعلم. نشر له «History of Inductive Science» (عام ١٨٣٧) و«Philosophy and Inductive Science» عام (١٨٤٠).

٣ ـ انظر الفصل ١، قسم ٧، والفصل ٢، قسم ٢.

٤ ـ فرنسيس باكون، بارون فيرولام (١٥٦١ ـ ١٦٢٨). ظهر كتابه «Novum Organum Scientiorum» (طريقة جديدة للكشف العلمي) عام ١٦٢٠.

٥ ـ توماس فولر، في الحكمة ١٩، والمقدمة، والملاحظات في كتابه «Novum Organum»، (أوكسفورد: مطبوعات كلاريندون، ١٨٨٩).

٦ ـ نفس المرجع، الحكمة ٢٠.

٧ ـ انظر الأجزاء ١، ٣، ٤، ٥، ٦، ٧.

٨ ـ كيرت جون دوكلاس (١٨٨١ ـ)، فيلسوف فرنسي، يدرس في جامعة براون ظهر كتابه «Philosophy of Science» عام ١٩٤١.

٩ ـ في مقاله: «On Whewell's philosophy» بمجلة «Review, Philosophical Lx» (١٩٥١).

١٠ ـ يمكن الحصول على أنسب انطباع بقراءة الكتاب الصغير لهويويل: «Of Induction. With Especial Reference to Mr. J.S. Mill'system of Logic» (لندن: ١٨٤٩).

١١ ـ جون كبلر (١٥٧١ ـ ١٦٣٠)، فلكي ورياضي الماني. ويقول قانون كبلر الذي يناقشه هويويل وميل في هذا القسم: «يتحرك كل كوكب في مسار إهليجي تقع الشمس عند إحدى بؤرتيه».

١٢ ـ انظر الفصل ٣.

١٣ ـ انظر الفصل ٧، الحاشية ٧.

١٤ ـ في مقاله «On Faraday's Lines of Force» (١٨٥٥).

١٥ ـ انظر الفصلين ٥، ٦.

١٦ ـ انظر الفصل ٣، قسم٥.

١٧ ـ انظر الفصل ٥، قسم ١٠.

١٨ ـ في كتابه «The Nature of Thermodynamics» (بيركلي: مطبوعات جامعة كاليفورنيا، ١٩٤٣).

١٩ ـ نفس المرجع، الفصل ١ صفحة ٧٦.

٢٠ ـ هانز ريشينباخ «The Rise of Scientific Philosophy» (بيركلي: مطبوعات جامعة كاليفورنيا، ١٩٥١) صفحة ٢٣٠.

٢١ ـ انظر المقدمة، الحاشية ١٩.

٢٢ ـ نفس المرجع.

٢٣ ـ جون هيرشيل «Discourse on the Study of Natural Philosophy» (١٨٣١).

٢٤ ـ في كتابه «Erkenntnis Und Irrtum» (المعرفة والخطأ)، الطبعة الثالثة، صفحة ٣١٨ وما يليها.

٢٥ ـ في المجلة السويدية، Theoria المجلد ١٩ و١٩٥٣

٢٦ ـ «Intuition» (ستوكهولم: أ. بونيير، ١٩٢٠).

٢٧ ـ ريشينباخ، نفس المرجع.

٢٨ ـ احتوى كتاب نلسون جودمان «Fact, Fiction and Forecast» على تحليل منطقي جديد للاستقراء، (كمبريدج: مطبوعات جامعة هارفارد ١٩٥٥).

[١٤]
صلاحية النظريات

١ ـ الاستقراء والاحتمال الإحصائي

ولنسأل الآن، مستخدمين طريقة ريشنباخ في الكلام: كيف يتسنى لنا أن نعرف «احتمالات» نظرية معينة، أو، على الأصح، أن نعرف احتمالات صحة نظرية معينة، من خلال اختبارنا بطريق الرؤية للنتائج المستخلصة من هذه النظرية؟ إن «الاستدلال الاستقرائي» هو الطريقة التي نحسب بها هذه الاحتمالات على الأقل على نحو تقريبي. ويجب أن نتذكر دائماً أننا في أي موضوع علمي له قيمته، علينا ألا نستخدم غير المفاهيم ذات «المعنى التشغيلي» (الفصل ١٣ قسم ٤). ولذلك، علينا أن نستوثق (بالتجربة أو الاختبار) من المعنى التشغيلي لكل من المصطلحين «الاحتمالات» و«الاستدلال الاستقرائي»، قبل ان نحاول استخدام هذين المصطلحين في لغة العلم.

وفي الحساب العادي للاحتمالات، كما يعالج رياضياً لعبة الحظ، تعرف «احتمالات وقوع حدث» بأنها «التردد النسبي» لهذا الحدث باعتباره عضواً في مجموعة طويلة من الأحداث. فإذا لعبنا لعبة النرد ودرسنا مجموعة طويلة من

الرميات وليكن عـددها n رميـة، فيمكن أن نبحث عن احتمالات وقـوع حدث معين وهو ظهور رقم الآس (الرقم ١) فوق السطح. فإذا ظهر هذا الرقم m مرة ضمن n رمية فإن m / n تسمى تردد هذا الحدث. فإذا زاد العـدد n فإن التـردد يقترب من قيمة معينة p وهي ما نسميها «احتمالات» هذا الحدث. واحتمـالات رمية الآس هي بالطبع p=1 / 6. ومن الواضح أننا لا يمكن أن نحدد الاحتمالات إلا إذا نظرنا إلى الحدث الذي نعنيه على أنه عضو في مجموعة تتجه الاحتمالات فيها نحو نهاية معينة. ومثـل هذه المجمـوعة تسمى «التجميـع» (collective) كما اقترح فون ميزس. وإذا نظرنا إلى النص: «إن احتمال موت السيد X.Y في العام القادم احتمال ضئيل»، نجد أنه ليس هناك معنى تشغيلي بهذا النص إلا إذا نظرنا إلى موت السيد .X.Y باعتباره عضواً في تجميع معين. وتتوقف قيمة هذا الاحتمال على التجميع الذي نختاره. فإذا اعتبرنا .X.Y عضواً في التجميع الذي يتألف من كل رجال العالم فإن احتمال موته يكون أكبر كثيراً مما لو اعتبرناه عضواً منتمياً إلى سكان الولايات المتحدة، غير أن كلاً من الاختيارين صحيح على حد سواء.

ويمكن هنا أن نسأل عما إذا كان هناك «احتمال معين لنظريـة نيوتن» حيث يكون للمصطلح «احتمال» نفس المعنى كما في الجملة «احتمال رمية الآس في لعبة النرد هو ١/٦».

ويذكر ريشينباخ في صراحة أن كلمة «احتمـال» في العبارة «هنـاك احتمال معين لصلاحية نظرية معينة» تحمـل نفس المعنى الذي تحمله في العبـارة «احتمال رمية الآس في لعبة النرد هو ١/٦». ومن ثم فإن المرء يستطيع طبقاً لريشنباخ، أن يحدد قيمة عددية لصلاحية كـل نظريـة علمية، ويمكن حسـاب هذه القيمـة على أسـاس التحقيقات التجـريبيـة لهـذه النـظريـة بتـطبيق الـطرق المعتـادة لحسـاب الاحتمـالات. وهو (١) يقتـرح طريقتـين لحساب احتمـالات النظرية، وهـاتـان الطريقتان تناظران في الواقع تعريفين تشغيلين مختلفين. وفي الطريقـة الأولى التي يسميها «احتمالاً من النوع الأول» يقترح ريشينباخ أن يكون التجميع الأساسي هو تجميع كل الوقائع المرئية التي يمكن استنباطها من النظرية استنباطاً منطقياً: وليكن عدد هذا الوقائع n. وبعد ذلك تفرز الوقائع التي يتم تدقيقها بالرؤية الفعليـة أو

بالتجربة: وليكن عدد هذه الوقائع m. عندئذ يكون $p=m/n$ هو التردد النسبي للنتائج المدققة للنظرية، والتي يجب أن نعتبرها «احتمالاً» للنظرية على نفس النحو عندما نقول إن $p=1/6$ هو احتمال رمية الآس في لعبة النرد. وفي تحديدما سماه ريشينباخ «احتمالاً من النوع الثاني» يكون التجميع الأساسي هو مجموعة الوقائع المرئية في نطاق معين (مثلاً، تحركات الأجسام المادية) تعالجه مجموعة من النظريات. ونرمز بالرمز n إلى عدد كل الوقائع التي شوهدت فعلاً في هذا المجال. وتتيح النظرية الواحدة (مثلاً، نظرية الحركة لنيوتن) أن نستنبط وقائع عددها m من بين هذه الوقائع n. وعندئذ نعرف الجزء $p=m/n$ بأنه احتمال نظرية الحركة لنيوتن.

وإذا سألنا عما إذا كان التعريف الذي أورده ريشينباخ لاحتمال النظرية «تعريفاً صحيحاً» فإن الإجابة عن هذا السؤال تتوقف على الفرض الذي يخدمه هذا التعريف. ومن وجهة النظر العلمية، يكون هذا التعريف «صحيحاً» إذا كان المصطلح مصطلحاً مفيداً في صياغة القوانين العلمية (انظر الفصل ١٣ قسم ٤) فكما عرفنا من قبل، لا يكون التعريف التشغيلي مفيداً إلا إذا كانت هناك عدة «عمليات» تعطي نفس القيمة لمتغير معين، مثل تحديد المسافة الزمنية بواسطة الساعة البندولية والساعة الزنبركية. ومن ثم فإذا حدد «احتمال النظرية» بواسطة العمليات التي وصفها ريشينباخ، فإن قيمة p التي يحصل عليها بهذه الطريقة يجب أن تدلنا أيضاً على مدى استعداد العلماء لقبول هذه النظرية وتسميتها «نظرية صحيحة». أما ريتشارد فون مايزس[٢] الذي كان أحد من توصلوا إلى وضع الأسس المنطقية لنظرية الاحتمالات، فقد نفى نفياً باتاً وجود علاقة بين «احتمال النظرية p» لريشينباخ وبين استعداد العلماء لقبول هذه النظرية. كتب فون مايزس في كتابه Positivism يقول: «يجب أن نلاحظ أن العلماء حتى في أحاديثهم العادية التي لا يتوخون فيها الدقة، قلما يستخدمون التعبير بأن احتمال النظرية احتمال صغير أو كبير». وفي الواقع أن أسباب قبول العلماء لنظرية معينة لا ترتبط «باحتمال» هذه النظرية إلا ارتباطاً واهياً. وإذا استخدمنا مثالاً مبالغاً فيه لطريقة ريشينباخ فيمكننا أن نفترض أن النظرية تتكون من التعديد المباشر لكل الوقائع المرئية في المجال الذي نحن بصدده. فإذا كانت كل هذه الوقائع قد «رئيت» فعلاً،

فيمكننا أن نستخلص من ذلك، طبقاً لريشينباخ، أن احتمال النظرية هو ١٠٠ في المائة، أي أن p=1. وعلى أية حال، فإن العالم لا يعتبر هذا التعديد نظرية يمكن قبولها، بل إنه يكاد لا يعتبره نظرية على الإطلاق. فالعالم إنما يكون مستعداً لقبول النظريات التي تتميز بخصائص مبسطة وموحدة. وتتيح لنا هذه النظريات أن نفسر كثيراً من الوقائع بواسطة جمل قليلة تستخدم كفروض أو بديهيات. كتب فون مايزس عن احتمالات النظريات يقول:

يحكم الفيزيائي على فائدة النظرية وإمكان قبولها أو رفضها بمعايير منوعة تختلف عن المعايير المذكورة آنفاً ـ وعلى سبيل المثال: بواسطة وجهة نظر الاقتصاد في الفكر

ويميل بعض المؤلفين إلى القول بأننا «يجب» أن نحكم على النظريات من خلال «احتمالاتها المبنية على أدلة الرؤية». وعلى أية حال، سوف نرى فيما بعد (الفصل ١٥ القسم ٢، ٣) أن تقييم معيار لقبول النظرية لا يكون له معنى إلا إذا أشرنا إلى الهدف الذي تخدمه النظرية. ولنعتبر، على سبيل المثال، احتمالات الفرض بأن «الآس سوف يظهر على السطح عند إلقاء النرد». إذا حسبنا احتمالات ذلك وفقاً لطريقة ريشينباخ، أو بطريقة مماثلة مبنية على حساب الاحتمالات، فإن النتيجة ستكون p=1/6. ومعنى هذا أن احتمالات صلاحية هذا الفرض هي ١/٦ أو حوالى ١٦ في المائة. وطبقاً لأسلوب التعبير المستخدم فعلاً في العلم، سوف يقول المرء، بناء على تجاربنا في إلقاء النرد، أن الفرض الذي يتنبأ بأن الآس سوف يظهر في كل رمية للنرد هو فرض خاطىء. ويضرب أحد معاوني فون ميزس المقربين مثالاً آخر؛ تقول هيلدا جيرينجر[٣]:

لنفترض الآن أن شخصاً ما قدم فرضاً H بأن «بكل مثلث زاوية منفرجة». ولكي نختبر هذا الزعم التقطنا مائة مثلث بطريقة عشوائية وقسناها. قد تكون النتيجة أن نجد H صحيحة في ٧٠ حالة وخاطئة في ٣٠ حالة. وعندئذ فإن رجل العلم يقول «إن H خطأ» ولا يقول إنها «صحيحة باحتمال قدره ٧٠٪».

وهناك اعتراض آخر على تطبيق الحساب العادي للاحتمالات. فمن الواضح أن نتيجة قياسات المثلثات تتوقف كثيراً على الطريقة المعينة التي التقطنا بها المثلثات عشوائياً. وهذه الطريقة تحدد «التجميع» الذي يتضمن المثلث. ويمكن

تحديد خصائص المثلث بطرق مختلفة: الطريقة الأولى قد تتألف من تعيين أطوال اضـلاع المثلث a, b, c؛ والثانيـة أن نعين طـول أحد الأضـلاع (a) والـزاويتـين المتجاورتين ß, ४. وإذا اخترنا مجموعة من المثلثات بطريقـة عشوائيـة فيمكن أن نفعل ذلك بأن نفترض أن كل قيم a, b, c تظهر بتردد متساو. لكننا يمكننا أيضاً أن نبني مجموعة عشوائية بأن نفترض أن كل قيم ∝, ß, γ تظهر بتردد متساو. ومن ثم فـإن علينا أن نتعـامل مـع «تجميعين» يختلف كـل منهما عن الآخـر. ونسبة عـدد المثلثات ذات الزاوية المنفرجة إلى العدد الكلي لن تكون متساوية في التجميعـين. ومن ثم فإن احتمال الفرض بأن «بكل مثلث زاوية منفرجة» لا تحدد تحديـداً غير مبهم، ولكنها تعتمد على الطريقة الاختيارية التي نحدد بها التجميع. ولهذا السبب فإن احتمال الفرض بأن كل مثلث يحتوي على زاوية منفرجة هو احتمال لا يمكن تحديده بواسطة الحساب العادي لـلاحتمالات. وتـرى هيلدا جيرينجـر أن رجل العلم من شأنه أن يقول: «إذا درسنا فرضاً مثل (A تعقبها B) ثم اتضـح لنا أن هذا الفرض لا يتفق مع المشاهدات في ١٠ حالات من ١٠٠ حالة فإن هذا الفرض يكون خاطئاً ولا يكون صالحاً للتطبيق باحتمال ٩٠٪».

٢ ـ الاحتمال الإحصائي والمنطقي

حاول رودولف كارناب(٤) أن يعرف «احتمال النظرية أو الفرض» بطريقة أكثر تعميماً وغير مبنية عـلى الحساب التقليـدي للاحتمـالات بواسـطة التفاضـل والتكامل. وقد بدأ بمادة من المشاهدات الحسية أو القياسات والتي سماها باختصار «الأدلة التجريبية (الوضعية) المعلومة (e)». ثم يفترض كارناب بعد ذلك أننا نجد بـواسطة التخيـل أو التخمين فـرضـاً (h) يمكن أن نستنبط منـه نصـوصـاً بشـأن المشاهدات. فإن عرفنا e، h يمكننا أن نسأل: ما هي احتمالات صحة h بناء على مادة الرؤية e؟ لقد تم إيجاد أو «تخمين» h بواسطة «الاستقراء» بناء عـلى الدليـل الوضعي e. ويهدف كارناب إلى وضع معيار رياضي للدرجة التي يمكن بها «تبرير» h بواسطة e (درجـة التحقق). وتترجم هـذه الدرجـة أيضاً عـلى أنها «الاحتمال الاستقرائي» لتبرير h بناء عـلى الدليـل e أو بعبارة أخـرى، هي احتمال صحـة الاستقـراء الـذي يؤدي من الـدليـل e إلى الفـرض h. واصـطلاح «الاحتمـال

الاستقرائي» لا يعني «الاحتمال الإحصائي» المستخدم في التفسير الشائع للاحتمالات في النصوص الموجودة في النظريات الإحصائية للفيزياء وعلم الوراثة. ففي الحالة الأخيرة يستخدم «الاحتمال» بمعنى «التردد النسبي». وكما ألمحنا عند عرضنا لآراء ريشينباخ وفون ميزس، يبدو من الأمور الاصطناعية والشديدة التعقيد أن نعزو «احتمالاً إحصائياً» إلى صحة الفروض العلمية. وقد اقترح كارناب أن يستخدم مصطلح «الاحتمال الإحصائي» في الحالات التي يمكن أن نحول فيها نصوص الاحتمالات إلى نصوص بشأن التردد النسبي. أما في الحالات الأخرى فيستخدم المصطلح الجديد «الاحتمال الاستقرائي». وفي نطاق هذه المصطلحات نجد نفس المعنى لكل من النص بأن: «الاحتمال الاستقرائي للفرض h بناء على دليل معين e هو احتمال كبير» أو النص بأن «الدليل e يحقق الفرض h بدرجة كبيرة» أو النص بأن «درجة التحقق درجة عالية». ومفهوم «الاحتمال الاستقرائي» أو «درجة التحقق» هو مفهوم منطقي بحت، كما قدمه كارناب. وهو لذلك يسمى «الاحتمال المنطقي». والنص بشأن الاحتمال الاستقرائي للفرض h بناء على الدليل e، لا يتوقف صوابه على صواب e، h، تماماً مثل ما في المنطق الاستدلالي حيث نجد أن نصاً مثل «e تشتمل على (أو تتضمن) h» لا تتوقف صحته على صحة h، e.

حاول كارناب[٥] أن يبني «منطقاً استقرائياً» يماثل المنطق الاستدلالي من أوجه عدة. وهو يسوق المثال التالي لهذا التماثل. يمكن في المنطق الاستدلالي أن يكون دليل الرؤية e هو: «كل الرجال ميتون، وسقراط رجل». ويمكننا من هذا الدليل أن نستنتج h: «إذا كان هذا هو الحال، فإن سقراط ميت». ويمكن أن نستخلص هذه النتيجة دون معرفة ما إذا كان صحيحاً أن كل الرجال ميتون وأن سقراط رجل. ونحن لا نحتاج سوى معرفة البنية المنطقية للدليل وقوانين الاستنتاج (أو الاشتمال المنطقي). وعندئذ، يقول أحد النصوص الأولية للمنطق الاستدلالي إن «e تشتمل على h». ويمكن لمثال مماثل في المنطق الاستقرائي أن يبدأ من دليل الرؤية e القائل بأن «عدد سكان شيكاغو ٣ ملايين نسمة. ومليونان منهم ذوو شعر أسود، وb أحد سكان شيكاغو؛ ويمكننا باستخدام قواعد المنطق الاستقرائي أن نستدل على أن الاحتمال الاستقرائي للفرض h القائل بأنه بناء على

الدليل e يكون b أسود الشعر هو احتمال يساوي ٢/٣. ولا تتوقف صحة هذا الاستدلال على ما إذا كان صحيحاً أن عدد سكان شيكاغو ٣ ملايين بينهم مليونان سود الشعر أو على ما إذا كان صحيحاً أن b هو أحد سكان شيكاغو. وبنفس الطريقة فإن صحة النص بأن «e تشتمل على h» لا تتوقف إلا على قواعد الاشتمال، وليس على صحة الدليل e. ولعل أسهل طريقة لصياغة التعريف العام لكارناب هي أن نبدأ من هذا المثال المتعلق بسكان شيكاغو. فالدليل e الذي لدينا يعين حداً للرجال (b) الذين يسكنون شيكاغو. والفرض h يعين حداً للرجال (b) ذوي الشعر الأسود. وينتج من الدليل أن هذين الحدين (سكان شيكاغو والرجال ذوو الشعر الأسود) لهما حد واحد مشترك وهو الرجال الذين يقطنون شيكاغو وشعرهم أسود. إذا كانت S نصاً في القالب «p ذات صفة معينة (pr)» فإن الدالة m(b) تنسب إلى الصفة pr عدداً موجباً، هو «قياس» للحد، وهو يحتوي على كل الرجال (b) ذوي الصفة pr. وتكون m(e) عندئذ هي الحد لكل الرجال b الذين يقطنون شيكاغو، بينما تكون m(h) هي الحد لكل الرجال b ذوي الشعر الأسود. وتنص المنظومة المنطقية h.e على أن الرجل b هو أحد سكان شيكاغو وأنه أيضاً أسود الشعر. وعندئذ تكون m(h.e) هي الحد لكل سكان شيكاغو ذوي الشعر الأسود. ومن ثم فإنه بناء على الدليل e يتضح أن

$$\frac{m(h.e)}{m(e)} = 2/3$$

وأنه من المفهوم أن كارناب يعرف احتماله الاستقرائي i للفرض h بناء على الدليل e بأنه

$$i = \frac{m(h.e)}{m(e)}$$

وبينما m(s) هي دالة لجملة واحدة s، نرى أن الاحتمال الاستقرائي

$$i = \frac{m(s, r)}{m(s)}$$

هو دالة لجملتين، هما الدليل e والفرض h.

وفي المثال الذي بدأنا منه القياس، يكون m(e) هو عدد السكان أو عدد الناس ذوي الشعر الأسود. ويكون m(e) عموماً هو الحد لكل الوقائع المرئية التي يجب أن يفسرها الفرض h. وكما علمنا عند مناقشة السببية (الفصل ١١، ١٢) فإن أي نتيجة نستخلصها من مشاهداتنا لنظام فيزيائي يمكن وصفها بأن نعطي قيماً

معينة لمتغيرات الحالة لهذا النظام، أو بعبارة أخرى، بأن نصف «حالـة النظام».
وقـد وصفت «الحالـة» في مثالنـا البسيط بعـدد السكـان، كـما وصف «حـد كـل الاحتمالات الممكنة» بكل الأعداد الممكنة للسكان، أي بكل الأعداد الصحيحة الموجبة. ويـوصف «حد كـل الحالات الممكنـة لنظام فيـزيائي» بكـل نظم القيم الممكنة لمتغيرات الحالة. وبينما نرى في مثالنا البسيط أن «حد» الدليل هو حد معين ضمن أعداد صحيحة موجبة فإن حدد الدليل لنظام فيزيائي عام يعطي لحد معين لمتغيـرات الحالـة. ويتميز الـدليل e بقيم معينـة تعطي لمتغيـرات الحالـة كنتيجـة للمشاهدات الواقعية ـ ويتميز الفرض h بقيم معينة تعطي لمتغيرات الحالة كنتيجة للاستنباط المنطقي من نظام للمبادىء.

ويمكننا أن نفهم هذه الاعتبارات العامة بسهولة مثال بسيط. فالدليل يمكن أن يكون مشاهدات مواضع نقطة كتلية في مستوى معين. وعندئذ يكون «الحـد» لمشاهدة واحدة هو مسـاحة دائـرة صغيرة حـول النقطة إذ أنـه بسبب الأخطاء في المشاهدة يجب أن نعتبر أننا لا نحصل أبداً من المشاهدة الواحدة على نقطة هندسية ولكننا نحصل على مساحة صغيرة حول نقطة. وإذا أجرينا عدد N من المشاهدات فإن مجموع المساحات التي تناظر N مشاهدة يكون هو «حد الدليل e». وفي هذا المثال يكون «قياس الدليل» m(e) هو مجموع مساحات كل الـدوائر التي نحصـل عليها بواسطة N مشاهدة. ويمكن أن نعتبر هذه المشاهدات هي مشاهدات مواضع أحد الكواكب أثناء تحركه حول الشمس. وكما هو معروف جيداً، استدل كبلر من هذا الدليل على الفرض بأن كل هذه المواضع تقع على مدار إهليجي. ويمكننا الآن أن نسأل: ما هي احتمالات الفرض بناء على الدليل e المتمثل في N مشاهدة؟ وبما أن «قياس» الدليل يعطيه مجموع مساحات دائرية عددها N، فإن قياس الفرض h يعطيه حد المواضع المستنبطة من هذا الفرض. وإذا أخذنا في اعتبارنا مرة أخرى الخطأ في المشاهدة، فإن الحد يكون عبارة عن مساحة تقع بين منحنيين إهليجيين. أي أن القياس m(h) يساوي المساحة بين هذين المنحنيين الإهليجيين. وقد تكون هناك مساحات مشتركة بين المساحات الدائرية التي تناظر دليل الـرؤية e، سـواء كانت هذه ضمن المساحة m(h) أو لم تكن كذلك. وتكون المضمومة h.e صالحـة للتطبيق في المساحة المشتركة عند كل نقطة. ومن ثم فإن المساحة الكلية المشتركة

بـين هذه الـدوائر هي (m(h.e، وهي قيـاس h.e. وعلى ذلـك، فإن الاحتمـال الاستقرائي لفرض كبلر هو، طبقاً لكارناب،

$$i= \frac{m(e.h)}{m(e)}$$

وإذا كانت المساحـات الدائـرية الصغيـرة (وعددهـا N) واقعة بحيث تغـطي كل المساحة بين المنحنيين الإهليجيين، فإن المساحة (m(e تكـون مساويـة للمساحـة (m(e.h، وتقتـرب قيمة الاحتمـال الاستقرائي من الـواحـد الصحيـح. أي أن احتمال فرض كبلر يقترب من اليقين. وبوجه عام، كلما زادت المساحة المشتركـة بين الدليل التجريبي والحزام الإهليجي، كلما زاد الاحتمال الاستقـرائي لفرض كبلر. ومع هذا يجب أن نتنبه إلى أن فرض كبلر لا يمثـل سوى مثـال بسيط جداً لحسـاب الاحتمال الاستقـرائي. فمتغيرات الحـالة التي استخـدمت في صيـاغـة الفرض هي تماماً نفسها بالنسبة للدليل التجريبي، وهي: إحداثيات نقطة كتلية في المستوى. أما إذا أردنا حساب الاحتمال الاستقرائي في حالة مثل قوانين الحركـة لنيوتن (قانون القصور الذاتي، الخ) فإن النص يصبح أكثر تعقيداً بدرجة هائلة. وتتمثل الصعوبة الرئيسية في أنه لا يمكننـا استنباط مـواضع الأجسـام الماديـة من قوانين نيوتن وحدها دون اعتبار لنظام القوى المؤثرة على الأجسام، وتركيب هذه الأجسـام (مـرنـة، أو لـدنـة، أو صلبـة، . . . الــخ). فمن الصعب أن نحسب الاحتمال الاستقرائي للقوانين النيوتونية من الدليل، لأن هذا الـدليل لا يتـوقف على هذه القوانين وحدها، وإنما يتوقف كـذلك عـلى المؤثرات التـركيبية العـديدة التنوع. ولذلك فإن عدد متغيرات الحالة سيكون كبيراً. وقد علمنا (الفصل ١١، ١٢) أن قانون السببية لا يكون له معنى إلا إذا كان عدد متغيرات الحالة صغيراً. وعـلى نفس النمط، لا يكون هنـاك معنى عملي للقـانون الـذي يحدد الاحتمـال الاستقرائي لفرض في نظام معين إذا كان عدد متغيرات الحالة في هذا النظام عدداً كبيراً. ونقول أساساً، إن فرضاً مثل قوانين نيوتن لا يذكر شيئـاً عما يتضمنـه من حالات، ولا يتيح لنا أن نحسب المعادلة.

$$i= \frac{m(h.e)}{m(e)}$$

كتب كارناب يقول:

هنـاك استقراءات كثيـرة في العلوم يقضي تعقيـدهـا بـاستحـالـة تـطبيق المنـطق

الاستقرائي عملياً. وعلى سبيل المثال، لا يمكننا أن نتوقع تطبيق المنطق الاستقرائي على النظرية العامة للنسبية لأينشتاين.

ومع ذلك، فإن هذا لا يشكل اعتراضاً جدياً على المنطق الاستقرائي. فكما علمنا عند تقديم «السببية»، لا يمكن تطبيق هذا القانون على الحالات الشديدة التعقيد. والأمر يتعلق «بالمنطق الاستقرائي التطبيقي» لنرى ما إذا كانت الحالات التي يمكن فيها حساب $i=m(h.e) / m(e)$ هي حالات معقدة بما يكفي لجعلها تقريباً كافياً للحالات العملية، أم أن الحالات المتعلقة عملياً هي وحدها التي يمكن أن تعامل على هذا النحو.

وبما أن نصوص المنطق الاستقرائي هي نصوص منطقية بحتة، طبقاً لكارناب، فإنها لا تذكر شيئاً عن الوقائع الفيزيائية. أو، بعبارة أخرى، هي ليست نصوصاً ناتجة عن المشاهدات. إنها من نفس نوع النظام الشكلي للهندسة ـ سواء كانت أوقليدية أو غير أوقليدية(٦) ـ قبل إدخال التعريفات التشغيلية (مثل الخط المستقيم أو شعاع الضوء). ولكي نضع نصوصاً بشأن الاحتمال الاستقرائي يمكن تدقيقها بالمشاهدة، يجب أن نضيف تعريفاً تشغيلياً لمصطلح «الاحتمال الاستقرائي». وإذا قلنا إن الخط المستقيم يعني شعاعاً ضوئياً في الفراغ» أو يعني «حافة سكين حاد» فلن يكون للنص معنى مضبوط إلا إذا قدمنا العمليات التي نتنتج بها شعاعاً ضوئياً أو حافة سكين. وإذا تحدثنا عن المعنى التشغيلي «للاحتمال الاستقرائي» يجب أن نذكر العمليات التي تتطلبها النصوص المحتوية على مصطلح «الاحتمال الاستقرائي». ويؤكد كارناب بشدة على أن «المنطق الاستقرائي نفسه يمكن أن يضع نصوصاً بشأن الاحتمال الاستقرائي، ولكنه لا يهتم بالتطبيق العملي لنظرياته أكثر من اهتمام الهندسة البحتة بتطبيق النظريات الهندسية على الملاحة»(٧). وفي واقع الأمر، وتوخياً للدقة، نحن نعرف أن كل النصوص الخاصة بمثلث من الحديد أو الخشب تنتمي، بهذا المعنى، إلى الهندسة الفيزيائية. وقد عرفنا عند مناقشة الهندسة والميكانيكا(٨) أن التعريفات التشغيلية نفسها تحتوي دائماً على مصطلحات ليست رموزاً ولكنها كلمات مما نستخدمها في لغتنا اليومية. فالعمليات الفيزيائية تصاغ بكلمات لا تختلف اختلافاً جوهرياً عن الكلمات التي نحتاجها في وصف مائدة الافطار. ولهذا السبب فإن تقديمنا للطريقة التي نطبق بها

الهندسة أو الميكانيكا في النواحي العملية ليس في حد ذاته جزءاً من الهندسة أو الميكانيكا. والنظم التي نسميها «هندسة» أو «ميكانيكا» أو «نظرية النسبية» ما هي إلا أدوات نستخدمها لكي نجعل حياتنا أكثر بهجة. ومن ثم فإن فوائدها هي أساساً من نفس نوع فوائد أي أداة، سواء كانت هذه الأداة مطرقة أو مسطرة أو طائرة أو قنبلة ذرية. ويرى كارناب أن نفس الشيء ينطبق على نظام المنطق الاستقرائي. فهذا النظام يتيح لنا فقط أن نحسب قيم «الاحتمال الاستقرائي» التي تتحقق بواسطة سلسلة من النتائج الاستدلالية داخل النظام. كتب كارناب يقول(٩):

> **ينطوي تحليل التطبيق أيضاً على فروض ومفاهيم معينة ذات طبيعة سيكلوجية مثلاً، ما يتصل بقياس الأفضلية والتقييم. والمشكلة والصعوبات هنا تنتمي إلى منهجية نوع خاص من العلوم الوضعية (هو سيكلوجية التقييم) كجزء من الطبيعة البشرية. ولذلك يجب ألا نعتبرها صعوبات في المنطق الاستقرائي.**

ويرى كارناب أن القرارات البشرية لا يمكن توجيهها بنظريات المنطق الاستقرائي إذا جعلنا النظرية مقتصرة على «المنطق البحت»، أي على قواعد حساب الاحتمالات بواسطة المعادلة $i=m(h.e) / m(e)$. ويجب أن نضيف إلى هذه النظرية قواعد واضحة للتصرف، وهي قواعد لا غنى عنها إذا أردنا أن نجعل من النظرية نظاماً للنصح بكيفية التصرف في ظروف خاصة. وتنص أول قاعدة صاغها كارناب على ما يلي: «إذا كانت هناك أحداث احتمالها الاستقرائي i بناء على الدليل e احتمال كبير جداً (i قريبة من الواحد الصحيح) فافترض أن هذه الأحداث سوف تقع، وتصرف كما لو كنت على يقين من وقوع هذه الأحداث». وتقول القاعدة الثانية، على نحو أكثر تحديداً: «توقع الحدث الذي له أكبر قيمة للاحتمال الاستقرائي، وتصرف كما لو كنت تعرف أن هذا الحدث هو حدث أكيد». وإذا أضفنا «قواعد التصرف» إلى القواعد التي نحسب بها الاحتمالات الاستقرائية، فإننا نحصل على نظرية نتعلم منها كيف نتصرف عند ظرف معين.

ومن المفيد أن نقارن بين قواعد التصرف هذه وبين النظرية التي نحصل عليها إذا لم نبدأ من «الاحتمال الاستقرائي» بل بدأنا من «الاحتمال الاستاتيكي» المستخدم في التقديم المعتاد «لحساب الاحتمالات» واستخدامه في العلوم. وكما

سبق أن ذكرنا، يبدأ تعريف «الاحتمال الإحصائي» من مجموعة عشوائية غير محدودة يكون كل حدث فيها ذا «تردد نسبي» معين، وعلى سبيل المثال، ظهور الآس في مجموعة رميات للنرد المعتاد. ويسمى «التردد النسبي» في هذه الحالة «بالاحتمال الإحصائي» لهذا الحدث. وفي حالتنا هذه يكون احتمال الآس هو p=1 /6. وقد بين فون ميزس أننا يمكن أن نستنبط من هذا التعريف كل قواعد التفاضل والتكامل المعتاد للاحتمالات[١٠]. ويمكن بواسطة هذه القواعد أن نستنبط من تجميع معلوم تجميعات أخرى، وأن نحسب الترددات النسبية للأحداث في كل مجموعة. ومن الواضح أننا لا يمكننا أن نستنبط شيئاً بشأن «احتمالات الأحداث المفردة» ولن يكون هناك معنى لأن نسأل عما إذا كان «محتملاً» أن يظهر الآس في عملية تتألف من رمية مفردة. وإذا شئنا أن نستنبط نصيحة بشأن كيفية اتخاذ قرار في حالة معينة بهذه الطريقة فيجب أن نضيف «قواعد القرارات» كما نفعل في «المنطق الاستقرائي». وعلى سبيل المثال، يجب أن نقبل القاعدة التي تقضي بوجوب التصرف على أساس أن الأحداث ذات التردد العالي ضمن المجموعة، هي من الناحية العملية أحداث أكيدة في الحالات الفردية. ويبدو لأول وهلة أن مفهوم «الاحتمال الاستقرائي» ومفهوم «الاحتمال الإحصائي» مختلفان اختلافاً جوهرياً. كتب كارناب يقول[١١]:

إن النص الأول للاحتمال الإحصائي نص واقعي ووصفي؛ وهو ينبئنا بشيء عن وقائع الطبيعة، ومن ثم فإنه يجب أن يبنى على إجراءات وصفية.

ويجب أن نميز قضايا النظرية الرياضية للاحتمالات وذلك من خلال النصوص التي تعطي قيماً عجيبة (مثلاً، p=1 / 6) لحادث معين. يقول كارناب: «إنها تسفر عن وجود صلات بين قيم الاحتمالات الإحصائية. ومن ناحية أخرى، كتب كارناب يقول:

والنص الأولي للاحتمال الاستقرائي ـ على سبيل المثال ذلك النص الذي ينسب إلى موضوعين معينين (h, e) عدداً خاصاً (i) هو قيمة الاحتمال الاستقرائي ـ هذا النص إما أن يكون صائباً من الناحية المنطقية وإما أن يكون زائفاً... وهو لا يتوقف على تصادف وقوع الأحداث لأنه لا يذكر شيئاً عن الوقائع بالرغم من أن الموضوعين (h , e) يشيران عملياً إلى الوقائع[١٢].

على أننا إذا طبقنا كلاً من مفهومي الاحتمال على حالة واحدة بذاتها فسرعان ما نلاحظ أن كلاً من المفهومين يرتبط بالآخر ارتباطاً وثيقاً؛ بل إنه يصعب أحياناً أن نميز أحدهما عن الآخر تمييزاً جيداً. ويمكننا أن نبدأ من النص البسيط: «احتمال رمية الآس بهذا النرد هو ١/٦». وغالباً ما فسر هذا النص على أنه مثال نموذجي للاحتمال الإحصائي. فهو يعني أن التردد النسبي للآس في مجموعة طويلة من الرميات هو ١/٦. إلا أن كارناب بين أن هذا النص يمكن تفسيره أيضاً على أنه نص متعلق بالاحتمال الاستقرائي. ولهذا الفرض ننظر إلى النص بشأن التردد النسبي على أنه الدليل، ثم نبحث عن الاحتمال الاستقرائي للفرض h بناء على الدليل e. والدليل e هو أن التردد النسبي للآس يساوي ١/٦. ثم نفحص الفرض h، بأن الرمية التالية للنرد سوف تعطي الآس، ونسأل: ما هو الاحتمال الاستقرائي للفرض بناء على الدليل e؟ إننا نستنتج من تعريف الاحتمال الاستقرائي ($i=m(e.h)/m(e)$) أن $i=1/6$، أي أن الاحتمال الاستقرائي لأن تكون الرمية التالية هي الآس هو ١/٦. فنحن ننسب إلى واقعة مفردة (الرمية التالية) قيمة عددية لاحتمال حدوثها. وإذا كنا نعني «بالاحتمال» هنا «الاحتمال الإحصائي» فلا شك أنه لا معنى لأن نضع الاحتمال ١/٦ لرمية مفردة. أما إذا نسبنا لهذا الحدث المفرد قيمة عددية لاحتماله الاستقرائي فإننا لا نزعم أن النص يمكن تدقيقه بواسطة التجربة. فالنص في «الاحتمال الاستقرائي» ليس نصاً بشأن الوقائع المرئية ولكنه نص يتعلق بالربط المنطقي بين نصوص معلومة. وهو في مثالنا هذا يقول إننا نحسب الاحتمال $i=1/6$ لرمية مفردة، بناء على التردد النسبي المشاهد للآس. كتب كارناب يقول:

> **يستخدم مفهوم الاحتمال الاستقرائي أيضاً في الحالات التي يكون فيها الفرض h تنبؤاً متعلقاً بحادث مستقبل، مثلاً، أن السماء سوف تمطر غداً، أو أن الرمية التالية لهذا النرد سوف تكون آساً[١٣].**

وإذا أيدنا النص بأن «الاحتمال الاستقرائي للآس في رمية مستقلة هو ١/٦» وقبلنا قواعد كارناب في اتخاذ القرار، فسوف يكون تصرفنا على نفس النحو تماماً كما لو كنا نعلم من تجاربنا أن «الاحتمال الإحصائي» في مجموعة طويلة من الرميات هو ١/٦. وسواء في النص بشأن «الاحتمال الاستقرائي» لحادث مفرد،

أو في النص على «الاحتمال الإحصائي» في مجموعة طويلة من الأحداث، لا يمكننا أن نحصل مباشرة على قاعدة للتصرف إلا إذا أضيفت التعريفات التشغيلية، أو، بعبارة أخرى، إلا إذا أضيفت قواعد اتخاذ القرار.

وفي السنوات الأخيرة، منذ عام ١٩٢٠، حدث انقسام بين العلماء والفلاسفة بشأن «نظرية الاحتمالات» السليمة. وقد قدم برنارد فون ميزس في مقاله الأساسي عام ١٩١٩[١٤] مجموعة من المبادىء يمكن أن يستنبط منها كل حساب الاحتمالات. وقد عرف الاحتمال في هذا النظام بأنه «الاحتمال الإحصائي»، وقد دعا المؤلف بشدة إلى الأخذ بأن هذا هو المفهوم الوحيد للاحتمال الذي يتلاءم مع المفهوم العلمي التجريبي أو الوضعي. ولما كان كارناب قد اعتبر طوال هذه الفترة واحداً من أقوى المدافعين عما سمي في العلم بالمذهب الوصفي أو التجريبي، فقد اتهم بالتناقص الخطير في دفاعه عن مفهوم ثان للاحتمال إضافة إلى المفهوم الإحصائي والتجريبي. ومن المؤكد أن المبدأ الرئيسي للفلسفة التجريبية أو حتى للفلسفة التجريبية المنطقية، كما كان كارناب يفهمها، هو مبدأ إمكانية التحقق أو التدقيق. فالمدققون من انصار المفهوم الإحصائي للاحتمال سوف يقولون إنه لا يمكن تحقيق النص بأن حدثاً مفرداً سوف يقع باحتمال معين. ومن ثم فإنه يكون غير ذي معنى طبقاً لأفكار الفلسفة التجريبية المنطقية. وقد كتب كارناب ضمن مناقشته لاعتراضات الوضعيين والتجريبيين يقول:

قد يقولون، مثلاً، : «كيف يمكن تحقيق نص يقول بأن احتمال سقوط المطر غداً هو ١/٥ بناء على الدليل من مشاهدات الظواهر الجوية؟» سوف نشاهد ما إذا كانت السماء ستمطر غداً أم لا تمطر، ولكننا لن نشهد أي شيء يمكنه أن يدقق القيمة ١/٥.

إلا أن هذا الاعتراض مبني على سوء إدراك لطبيعة النصوص المتعلقة بالاحتمال الاستقرائي. فهذا النص لا يعطي قيمة ١/٥ للاحتمال الاستقرائي لمطر الغد، ولكنه يعطيه بالأحرى للعلاقة المنطقية بين التنبؤ بالمطر وبين التقرير الخاص بالظواهر الجوية[١٥].

ويرى كارناب أن مثل هذا النص هو نص منطقي بحت، وهو كذلك في غير

حاجة إلى التحقيق بواسطة مشاهدة مناخ الغد. ويحاول كارنـاب أن يوضـح هذه الحالة بالمقارنة مع المنـطق الاستدلالي. وهـو يبدأ بـالجملة h «سوف تمـطر السماء غداً»، والجملة j «سوف تمطر السماء ويهب الريح غداً». ثم يقول إن المرء يستطيع بالتأكيـد أن يستنتج من المنـطق الاستدلالي أن «h يستـدل عليها منـطقياً من j». ولذلك فإنه حتى أكثر التجريبيـين المنطقيـين تدقيقـاً لا يمكن أن يطالب بـوجوب تحقيق النص بواسطة مشاهدة المطر. ويرى كارناب أن:

النص، «الاحتمال الاستقرائي للفرض h بناء على الدليل e هو ١/٥» لـه نفس الصفة العامة مثل النص السابق.... والفرق بين النصين هـو فقط: بينما ينص الأول على مضمون منـطقي كامـل، فإن الثـاني ينص فقط على مضمـون منطقي جزئي[١٦].

وبينما دافع فون ميزس عن الفائدة الواضحة «لـلاحتمال الإحصـائي» فإن كلاً من كين[١٧] وجيفري[١٨] قد زكى المفهوم المنطقي للاحتمال الذي كان يشبه من بعض الوجوه الاحتمال الاستقرائي لكارناب.

٣ ـ أي نظرية للاحتمالات هي النظرية الصحيحة؟

تمسك كل من ريتشارد فون ميزس وهانز ريشنباخ تمسكاً حازماً بأن تعريف الاحتمـال بأن «التـردد النسبي» هـو الأسـاس العلمي المقنـع الـوحيـد لحسـاب الاحتمال، بل ولأي موضوع في الاحتمالات. وقد اتفق معهما في هذا الرأي كثير جداً من العلماء والفلاسفة وأصبحوا «ترددين» (يـأخذون بمـذهب التردد). ومن ناحية أخرى، أفصح كثير من المؤلفين عن اتفاقهم في الرأي مع ج.م. كين وهـ. جيفري وغيرهم من أنصار «الاحتمال المنطقي». ويجب أن نسأل مـاذا نعني حقاً بالتمسك بأن «نظرية التردد للاحتمالات» هي النظرية الصحيحة أو أن «النظرية المنطقية للاحتمالات» هي النظرية الصحيحة. هل من المعقـول أن نتمسك بـأن «نظرية التردد» هي نظرية صالحة على نحـو ما نقـول إن النظريـة الموجبـة للضوء نظرية صالحة؟

كان من شأن فون ميزس وكارناب أن يوافقا على القول بأن مفهومنا الفطري السليم «للاحتمال» مفهوم مبهم، وأن علينا أن نبلور منه مفاهيم محـددة تحديـداً

واضحاً لكي نستخدم «الاحتمال» في المعالجات العلمية. تمسك فون ميـزس[١٩] بأن المفهوم الوحيد الذي يمكن تحديده تحديداً واضحاً والذي يمكن في الواقـع أن يستخدم في العلم هو مفهومه في «التردد النسبي» أو «الاحتمال الإحصـائي» بينما استخـدم مؤلفون مثـل كين عمليـة تحسين مختلفـة ليقـدمـوا مفهـوم «الاحتمـال المنطقي». ويزكي رودولف كارناب[٢٠] نوعاً من الحـل الوسط فيقتـرح استخدام عملية تحسين تفرز نتائج ذات نهايتين: «احتمال إحصائي» و«احتمال استقرائي». ومن وجهة النظر العلمية، لا يمكننا أن نصوغ حكماً على هذين المفهومين إلا عن طريق فحص معايير صلاحية النظريات العلمية. يجب أن نختبر النظريات العلمية التي يوجد بها مفهوم الاحتمـال وأن نكشف أياً من هـذين المفهومـين هو الأكـثر فائدة. وعلى سبيل المثال، يمكننا أن نختبر نظريات مثل نظرية الحركة للغازات أو للالكترونات أو أي نظريات أخرى للفيزياء الإحصائية.

وكما أشرنا مراراً، فإن كلاً من تعريف كارنـاب «للاحتمـال الاستقرائي»، وتعريف فون ميزس «للاحتمـال الإحصائي» لا يؤدي إلى نص يتعلق بـالظواهـر الفـردية المـرئية إلا إذا أضيفت إلى هـذا التعريف المجـرد «قواعـد التصـرف» أو «التعـريفات التشغيليـة». فإذا أضيفت هـذه القـواعـد، فـإن كـلاً من مفهـومي الاحتمال سوف يؤدي إلى نفس النص المتعلق بالتصرفات. وإذا قدمنا مثلاً نظرية الحركة للغازات، فإن النتائج المرئية لا تتوقف على ما إذا كنا عند تقديمها قد طبقنا في هذا المفهوم أو ذاك من مفهومي الاحتمال. فـإذا كان الأمـر كذلـك فلماذا لا يرضى كارناب عن استخدام نظرية التردد للاحتمالات؛ لماذا يطالب باستخـدام الاحتمال الاستقرائي والمنطقي أيضاً عند تقديم العلوم؟ لقد أشار مـراراً وتكراراً إلى أن مفاهيم العلوم يجب أن تكون قريبة من مفاهيم الفطرة السليمـة على قـدر المستطاع. وعندما نتحدث عن الاحتمالات في لغتنا اليومية، فقد درجنا عـلى أن نتحدث عن احتمال أن تمطر السماء غداً، أو احتمال نشوب حرب هذا العام. وبما أن مفهوم التردد للاحتمال لا يمكننا من الحديث على هذا النحو فإن كارناب يزكي إدخال مفهومين للاحتمال في العلم، وهما من مرتبتين منطقيتين مختلفتين اختلافـاً شديداً لكنهما يتفقان في تطبيقهما على نتائج التجارب والمشاهدات الفيزيائية. وهو يؤكد بشدة على أن الفيلسوف المحنك قد يرفض أن نتحدث عن احتمال حادث

مفرد، لكن الرجل غير المتخصص لا يفعل ذلك. وهو يناقش[٢١] مثالاً بسيطاً. فهو يفترض أن المشاهدات قد أسفرت عن أن نرداً معيناً قد صنع على شكل مكعب منتظم، وأن ستة آلاف رمية كان من بينها ١٠٠٠ رمية آس. فإذا رمزنا بالحرف h إلى الفرض بأن الرمية التالية ستعطي آساً، فإنه طبقاً لكارناب، «سوف يكون هناك اتفاق عام تقريباً على أن الاحتمال الاستقرائي للفرض h بناء على الدليل الموصوف سوف يكون ١/٦ (تماماً أو تقريباً)». ثم يضيف كارناب التعليق التالي:

> **صحيح أن هناك قلائل من العلماء النظريين الذين يرفضون أن يضعوا نصاً عن «الاحتمال» بالنسبة إلى الفرض h، لأنه، بناء على مفاهيمهم، لا معنى لنص عن «الاحتمال» بالنسبة لحادث مفرد... ومع ذلك، فإنك لا تجد مثل هذا الشك لدى الرجل في الشارع، أو العالم التجريبي في المختبر. فإنك إذا قدمت لهما الدليل e وسألتهما ما هو احتمال h، فإن الغالبية منهم لن تتردد في الإجابة، كما أن أغلبية الإجابات سوف تكون متفقة مع بعضها البعض إلى حد كبير[٢٢].**

ومن المهم جداً أن نلاحظ أن كارناب يفرق بين النظريتين من ناحية ورجل الشارع والعالم التجريبي من ناحية أخرى. فهو يعتبر أن «العالم التجريبي» يستخدم نفس اللغة المعتادة التي يستخدمها «رجل الشارع». وما يقولانه سوف يقرر ما إذا كانت النظرية يجب قبولها أو رفضها. إن عاداتها في الكلام تكون أحياناً أوثق علاقة بالموضوع من انتقادات «النظريين»، وسوف نتبين أن هذه النقطة متعلقة بالموضوع عندما نناقش (في الفصل ١٥ القسم ٢) معايير قبول النظريات، وموضع الفطرة السليمة بين هذه المعايير.

وكلما توسعنا في دراسة هذه المعايير كلما لاحظنا أنه في الحالات المفردة يصعب أن نميز أياً من النظريتين البديلتين هي الأقرب إلى اللغة اليومية. فمثلاً، ليس من المؤكد أن قبول نظرية التردد للاحتمال تلغي في الواقع استخدام نصوص بشأن احتمال الحوادث المفردة. فريشينباخ، الذي كان «ترددياً مدققاً» قد أعطى تفسيراً لنصوص الاحتمال في حالات مفردة يمكن أن تستقيم مع نظرية التردد. وهو يبدأ بملاحظة أن الروابط السببية لا يمكن في صيغتها الفطرية السليمة أن تدقق بواسطة أي تجربة أو مشاهدة. وإذا قلنا مثلاً، «إذا فتح امرؤ الصنبور فإن الماء

يجب أن ينساب» فليس هناك سبيل إلى التحقق من أن هذا في الواقع أمر «لا بد منه». وهذه نقطة معروفة جيداً منذ دافيد هيوم(٢٣) أما ريشينباخ فقد كتب(٢٤):
«إن الرجل الذي يعتقد أنه إذا فتح الصنبور فإن الماء يجب أن ينساب، قد تكونت لديه عادة جيدة، مؤداها أن اعتقاده سوف يهديه إلى النص الصحيح بشأن كليات مثل هذه الأحداث». ويرى ريشينباخ أن نفس الشيء ينطبق أيضاً على النص بشأن الحادث المفرد والذي لا يمكن التحقق منه بواسطة التجربة. يقول ريشينباخ:
«وبالمثل فإن الرجل الذي يعتقد أن احتمال ٧٠٪ يمكن أن ينطبق على حالة مفردة، هذا الرجل قد تكونت لديه عادة جيدة». وإذا كان «الاحتمال» هو تردد نسبي فليس هناك احتمال لحادث مفرد بالمعنى الدقيق للتعريف. لكن المرء إذا تعود أن يتحدث عن الاحتمال بالنسبة لحادث مفرد فإن اعتقاده سوف يدفعه لأن يقول بأن ٧٥٪ من الحالات الشبيهة الكثيرة ستكون لها النتيجة المشار إليها».

ونلاحظ مرة أخرى أننا، إذا اعتبرنا العلم مرشداً للمرء عند تصرفه، لن نجد فرقاً في أن ننظر إلى احتمال الحادث المفرد على أنه نص في الاحتمال الاستقرائي، أو أن نلتزم بالاحتمال الإحصائي ونفسر نصوص الاحتمال المتعلق بالأحداث المفردة على أنها عادات جيدة، ولكننا لا نعتبرها تقارير عن وقائع وضعية يمكن تدقيقها. وإذا أجملنا كل هذه الاعتبارات، فسوف نلاحظ أننا لا نستطيع أن نجيب في بساطة بكلمة نعم أو لا عن سؤالنا عما إذا كانت «النظرية الترددية للاحتمال» هي النظرية الصحيحة أم «النظرية المنطقية للاحتمالات». وكما سوف نعرف وشيكاً (الفصل ١٥ القسم ٢، ٣) تتوقف الإجابة عن هذا السؤال على معرفتنا بما هو الصالح الذي نريد تحقيقه من وراء هذه النظرية. فقبولنا لإحدى «نظريتي الاحتمالات» يتوقف، مثلاً، على مدى أهمية اتفاقها مع لغة الفطرة السليمة، أو مدى الأهمية التي نوليها لاتفاق هذه النظرية مع واحدة من نظريتين علميتين متنافستين، مثل النظرية الموجبة والنظرية الجسيمية للضوء. ومن الـ ـل ن نلاحظ، مثلاً، أن الصعوبات التي ذكرناها عند مناقشة نظرية ريشينباخ تظهر على نحو مماثل تماماً عندما نطبق نظرية كارناب. ونحن نتذكر أن فون ميزس وهيلدا جيرينجر قد اعترضا بأنه في نظرية ريشينباخ قيل إن (احتمال صلاحية نظرية ما هو ٧٠٪» إذا أمكن تدقيق ٧٠٪ من نتائج هذه النظرية بواسطة التجربة.

ونحن نعلم أنه في النهج المتبع فعلاً لدى العلماء، فإن النظرية التي تختلف مع ٣٠٪ من التجارب التي أجريت فعلاً تسمى نظرية «زائفة» أو «خاطئة». ونحن نحصل على نفس النتيجة إذا طبقنا «الاحتمال الاستقرائي» لكارناب.

وقد حاول جاكوب برونوسكي(٢٥) أن يتجنب هذه الصعوبات وأن يقدم معالجة مختلفة اختلافاً جذرياً لموضوع احتمالات نظرية أو فرض ما. وقد استهدف برونوسكي(٢٦) أن يتجنب هذه الصعوبات وأن يقدم معالجة مختلفة اختلافاً جذرياً لموضوع احتمالات نظرية أو فرض ما. وقد استهدف برونوسكي(٢٦) تشكيل معيار لصلاحية النظرية، يحظى بتأييد رجال مثل جون فريدريك هيرشيل ووليام هويويل. وكما نتذكر، يرى هذان العالمان والفيلسوفان أن الإنجاز الرئيسي لأي نظرية يتمثل في قدرتها على التوحيد والتبسيط. فالنظرية يزداد احتمالها كلما كانت أكثر بساطة بالمقارنة مع تعقيد الوقائع المرئية التي تشملها النظرية. وإذا كانت النظرية تشتمل على تعديد كامل للوقائع المرئية فإن احتمال «النظرية» يكون كبيراً جداً، وإذا استخدمنا اصطلاح «احتمال النظرية» الذي يؤيده ريشينباخ وكارناب.

وهذه التعريفات مبنية أساساً على إحصائيات الوقائع المرئية المستنبطة من النظرية. فقد اعتبر هذان العالمان أن النظرية تكون كبيرة الاحتمال إذا أمكن بالتجربة والمشاهدة الفعلية أن ندقق عدداً كبيراً من النتائج المستنبطة منها. أما فون ميزس وبرونوسكي فقد رفضا هذا النمط من تطبيق حساب الاحتمالات. فلا يمكن الحكم على فائدة النظرية للعمل العلمي الواقعي من خلال اتفاق نتائج هذه النظرية مع المشاهدات الواقعية؛ فمن الممكن أن تكون هناك «نظرية» تتفق مع كل الوقائع المرئية، ولكنها مجرد تسجيل للمشاهدات ولا تعتبر نظرية على الإطلاق. وإذا كانت لدينا نظريتان تعطيان نفس الوقائع المرئية، فإن العالم يفضل النظرية الأكثر اقتصاداً أو بساطة. ويعقد برونوسكي مقارنة بين النظرية العلمية ودليل المصطلحات الذي يساعدنا في وصف الوقائع المرئية. إننا نفضل الدليل الذي يتفوق على غيره عملياً ويكون أكثر كفاءة. ولكي نحسن هذا الدليل فإننا نحاول بانتظام (اقتباساً عن برونوسكي) «أن نجزىء الدليل إلى رموزه التي يتألف فيها وقوانين ترتيبها». إن العناصر الكيميائية المائة تشكل دليلاً يتيح لنا وصف الظاهرة الكيميائية. وإذا فتتنا هذه العناصر إلى ثلاثة أنواع من الجسيمات (بروتونات

ونيوترونات والكترونات) والقوى الفاعلة بينها، فإننا نحصل على دليل يصف، مثلاً، التفاعلات بين الأيدروجين والأوكسجين على نحو يمكننا أن نستنبط منه معلومات أكثر جداً مما نستنبطه من أي نظرية يوجد بها «الأوكسجين» و«الايدروجين» نفسهما كرمزين ساذجين. وإذا اعتبرنا نظريات لا تتناقض تناقضاً واضحاً مع الوقائع المرئية فإن برونوسكي يسمي النظرية نظرية كبيرة الاحتمال كلما زاد تفتيت الدليل الذي تعطيه النظرية متجزئاً إلى الرموز التي يتألف منها وقوانين ترتيبها، إن كل قبولنا لنظرية مختلف عليها إنما يرجع إلى حل وسط بين معياري ريشينباخ وبرونوسكي: الاتفاق مع الوقائع، والكفاءة كدليل للمصطلحات (الفصل ١٥ قسم٢).

٤ ـ حواشي الفصل [١٤]

١ ـ هانز ريشينباخ، Erkenntis، المجلد ٥ صفحة ٢٧٧ وما يليها.

٢ ـ ريتشارد فون ميزس «Positivism» مقال ترجمه جيريمي برنشتاين وروجر نيوتن (كمبريدج: مطبوعات جامعة هارفارد، ١٩٥١) صفحة ١٧٣.

٣ ـ في مقال «On the Probability of Hypotheses» نشر في مجلة «Journal of Unified Science»، المجلد ٨ (١٩٣٨) صفحة ١٥١ وما يليها.

٤ ـ رودولف كارناب، «Inductive and Deductive Logic» (شيكاغو: مطبوعات جامعة شيكاغو، ١٩٥٠) صفحة ٢٠٠.

٥ ـ نفس المرجع، «The Usefulness of Inductive Logic» الفصل ٤ صفحة ٣٤٩.

٦ ـ انظر الفصل ٣، قسم ٦.

٧ ـ كارناب، نفس المرجع، الفصل ٤ صفحة ٢٥٣ وما يليها.

٨ ـ انظر الفصلين ٣، ٤.

٩ ـ كارناب، نفس المرجع، الفصل ٤، صفحة ٢٥٤.

١٠ ـ ريتشارد فون ميزس «Grundlagen der Wahrscheinlich keitsrechnung» مجلة Mathematische Zeitschrift المجلد ٥ (١٩١٩).

١١ ـ كارناب، نفس المرجع الفصل٢، قسم ١٠ صفحة ٣٢.

١٢ ـ نفس المرجع.

١٣ ـ نفس المرجع، صفحة ٣٠.

١٤ ـ ريتشارد فون ميزس، نفس مرجع الحاشية ١٠.

١٥ ـ كارناب، نفس المرجع.

١٦ ـ نفس المرجع.

١٧ ـ سيرجون ماينارد كين (١٨٨٣ ـ ١٩٤٦)، اقتصادي انجليزي. الدور الكبير للإحصاء في الاقتصاد أدى به إلى الاهتمام بالرياضيات وخاصة بالأساس الفلسفي للاحتمالات. ظهر مؤلفه في «الاحتمالات» عام ١٩٢١.

١٨ ـ هارولد جيفري (١٨٩١ ـ   ) فلكي بريطاني. ظهر أول بحث له في «الاحتمالات» في المجلة

الفلسفية (١٩١٩ ـ ١٩٢٠) كتب «Scientific Inference» (كمبريدج: مطبوعات جامعة كمبريدج، ١٩٣١) «Theory of Probability». (أوكسفورد: مطبوعات جامعة أكسفورد، ١٩٣٩).

١٩ ـ «تبحث النظرية «الموضوعية» أو «المنطقية» للاحتمالات، وهي النظرية المفضلة لدى الفلسفة المدرسية، تبحث دون جدوى على أساس لقياس الاحتمالات يختلف عن تردد وقوع الحدث المعني» هذا ما كتبه ريتشارد فون ميزس في مقاله: «Positivism, An Essay on Human Understanding» صفحة ١٦٦.

٢٠ ـ كارناب، نفس المصدر.

٢١ ـ نفس المصدر، الفصل ٤، صفحة ٢٣٥.

٢٢ ـ نفس المصدر.

٢٣ ـ دافيد هيوم «Enquiries Concerning Human Understanding» القسم ٢٤ الجزء ١.

٢٤ ـ هانز ريشينباخ، «The Rise of Scientific Philosophy» (بيركلي: مطبوعات جامعة كاليفورنيا، ١٩٥١)، الفصل ١٤، صفحة ٢٣٩.

٢٥ ـ جاكوب برونوسكلي (١٩٠٨ ـ   ) عالم بريطاني، وفيلسوف، وشاعر، وناقد أدبي. في كتابه «The Common Sense of Science»، (كمبريدج: مطبوعات جامعة هارفارد، ١٩٥١)، يعرض معالجة واضحة للفلسفة المعاصرة للعلوم.

٢٦ ـ «The Logic of Experiment»، في مجلة «Nature»، المجلد ١٧١ (١٩٥٣).

[١٥]
نظريات عالية التعميم

١ ـ دور السببية في علوم القرن العشرين

لخص كثير من المؤلفين نتائج الفيزياء الذرية المعاصرة في شعار واحد: كانت الفيزياء حتى نهاية القرن التاسع عشر قائمة على مبدأ السببية، وقد أهمل هذا المبدأ في الفيزياء الذرية بالقرن العشرين. ويمكننا أن نستشف هـذا الملخص للفيزيـاء الحديثة فيما يكتبه البيولوجيـون والسيكلوجيون، وعلماء الاجتمـاع، والفلاسفـة، ورجال القانون، والأطباء، وعلى الأخص في مواعظ رجال الدين، وخطب رجال السياسة. ونقول، في تحفظ، إن هذا كلام مبالغ في تبسيطه. وليس من العدل أن ننكر أن هذه الإساءات في الفهم خارج نطاق الفيزياء ترجع أصلاً إلى العـروض السطحية التي استخدمها الفيزيائيون كثيراً في صياغة تعميمات لما يمكن أن يدقق علمياً. وإذا تذكرنا المفهوم الدقيق للسببية الذي أبرزناه في (الفصلين ١١، ١٢)، فإننا نستطيع أن نكـون حكماً عن المـوضع الصحيـح للسببية في الفيـزياء الـذرية الحديثة.

وقد تبدو مناقشة السببية وقد اتسمت بشيء من الاستفاضة بل والحذلقة. وفي الواقع أننا إذا اكتفينا بالعلوم التي ترسخت مع تغير طفيف عبر فترات زمنيـة

طويلة، فإن كل امرىء يعرف، دون أن نطيل في ذكر السببية، كيف يصوغ مثل هذا العلم قوانينه ويطبقها في التنبؤ بالمستقبل. ولكن عندما تقع تغيرات جذرية في الخطة المفاهيمية للعلم فلن يظل واضحاً كيف يصاغ مفهوم «القانون السببي»، أو حتى ما إذا كان من الواجب أن نسترده ونسمح ببقائه في الطور التالي لهذا العلم. لم يصبح التحليل المنطقي للهندسة المنطقية هاماً ومشوقاً إلا بعد معرفة الهندسة غير الأوقليدية؛ ولم يكشف تحليل ماسن للهندسة النيوتونية قبل أن يقبل الفيزيائيون نظرية النسبية لأينشتاين. ولنفس الأسباب لم يصبح التحليل المتقن للسببية جذاباً ومناسباً قبل أواخر القرن التاسع عشر عندما كانت الفيزياء الذرية المعاصرة لا تزال في دور الإعداد؛ وقد نشأ عن ذلك تغير جذري في قوانين الحركة كما يتمثل ذلك في ظهور ميكانيكا الكم وميكانيكا الأمواج في القرن العشرين.

وربما يكون أفضل ما نفعله لكي نكتسب فهماً سهلاً ودقيقاً هو أن نعيد ذكر واحدة من التجارب الأساسية في الفيزياء الذرية، وأن نعيد صياغتها باستخدام مصطلحات «القانون السببي» و«القانون الإحصائي» و«السببية». ونحن نشير إلى مرور الالكترونات خلال فتحتين في حاجز وانتاج الومضات على ستار مواز للحاجز. وقد نوقشت هذه التجربة مناقشة وافية في (الفصلين ٨، ٩). تتكرر الظروف الابتدائية (أو «السبب») في هذه التجربة من حشد من الالكترونات (أشياء ذرية، بوجه عام)، تنبعث من مصدر وتتحرك في اتجاه متعامد مع الحاجز وستار الوميض. المسافة (a) بين الفتحتين، وسرعة الالكترونات (v)، والمسافة بين المصدر والحاجز والستار، كل هذه تنتمي أيضاً إلى الظروف الابتدائية. إذا كان حشد الالكترونات حشداً كثيفاً فإننا نشهد نموذجاً محدداً للأهداب تفصل بينها مسافات يمكن حسابها بقاعدة رياضية من الظروف الابتدائية للتجربة؛ وبالذات من a، v، ويمكننا بالتأكيد أن نقول إنه كلما كانت هذه الظروف الابتدائية مستقرة، فإنه ينتج عنها نموذج أهداب محدد. وهذا بالتأكيد «قانون سببي». والسبب يحدد «النتيجة» في غير غموض إذا كان ما نعنيه «بالنتيجة» هو نموذج الأهداب ككل. فهذا قانون سببي بدلالة الوقائع المرئية. ويختلف الوضع إذا كان حشد الالكترونات حشداً رقيقاً، إذ يتكون النموذج فوق الستار عندئذ من ومضات مفردة تتعاقب على مسافات متباعدة. ولا يمكننا أن نتنبأ بهذه الومضات

المفردة، ولكننا نستطيع فقط أن نتنبأ بالتوزيع الإحصائي الذي يمكن أن ندققه عندما يكون هناك عدد كبير من الاضطرابات.

ولا تختلف الحالة اختلافاً كلياً عن حالة تصويب نقطة كتلية نحو هدف، حيث لا يمكننا أن نتنبأ بالموضع الدقيق للاصابات ولكننا نتنبأ فقط بتوزيعها الإحصائي. غير أن هناك اختلافاً واحداً. تقليص التشتت في الظروف الابتدائية لحالة التصويب ينتج عنه تقلص في تشتت الصدمات حول مركز الهدف. أما عند مرور «الأشياء الذرية» خلال الفتحتين فلا يمكننا أبداً أن نجعل الومضات تقع عند نقطة معينة من الهدف (الستار). فنحن الآن في نفس الوضع مثل حالة رمي قطع النقود. فمهما حاولنا في الظروف الابتدائية فلا يمكن أن نفعل سوى التنبؤ الإحصائي بشأن «نتيجة» إطلاق الجسيمات الذرية خلال الحاجز. ويمكننا أن نقول إنه بالرغم من أن العملية تبدو كما لو كنا نصوب قذائف نحو هدف فإن نتيجة هذه العملية تكون أكثر شبهاً بعملية قذف قطع النقود. ونوجز فنقول إن الظواهر المرئية في الفيزياء الذرية لا تتبع «قوانين السببية» إلا في حالة التدفق الغزير للأشياء الذرية؛ عندئذ يمكن التنبؤ «بالنموذج» على الستار دون غموض. والمسافة التي تفصل بين الأهداب هي دالة للظروف الابتدائية a، v. وتوجد حالة مماثلة أيضاً في تأثير كومبتون (Compton effect)؛ يتغير تردد الأشعة السينية لدى اصطدامها بحشد من الالكترونات. ويمكن حساب التغير بدقة بمعرفة الظروف الابتدائية، لكننا لا نستطيع التنبؤ بالموضع الدقيق للالكترون. وطبقاً لنظرية الطيف لبوهر يمكن التنبؤ بدقة بتردد خطوط الطيف المنبعث من ذرة إيدروجين وذلك بمعرفة الظروف الابتدائية؛ لكننا لا نستطيع حساب الموضع الدقيق للالكترون المفرد في مساره حول النواة. وكما هو الحال في تأثير كومبتون[1]، نجد أن الترددات في طيف الأيدروجين هي خواص للنموذج الناتج عن عدد كبير «من الأشياء الذرية» مثل الالكترونات.

ويستفاد من كل ذلك أنه، فيما يتعلق بالظواهر المرئية رؤية مباشرة، لا يختلف الوضع اختلافاً جوهرياً عنه فيما نسميه «بالفيزياء الكلاسيكية»، مثل الميكانيكا النيوتونية. فمن الظروف الابتدائية المرئية يمكننا أن نتنبأ تنبؤاً يقينياً بالنتائج، إذا اكتفينا بصفات الأعداد الكبيرة من الأشياء؛ ولكننا نشاهد «تقلبات»

(fluctuations) لا يمكن التنبؤ بها إذا شاهدنا ظواهر صغيرة الكثافة. ونكرر مرة أخرى: إننا، حتى عند التصويب على هدف، لا نستطيع التنبؤ بالإصابات إذا أطلقنا عدداً صغيراً من القذائف. وكثيراً ما اعترض على ذلك بأنه يمكن التنبؤ بكل قذيفة مفردة إذا عرفت الظروف الابتدائية معرفة دقيقة، غير أننا سوف نحتاج لهذا الفرض إلى العقل الشمولي العلم الذي أدخله لابلاس والذي ناقشناه في (الفصل ١٢). أما إذا كنا، نحن البشر، الذين سيشاهدون الوقائع المرئية، فلن نستطيع التنبؤ إلا بناء على عدد كبير من الحالات.

وإذا أردنا أن نفهم الفرق بين دور السببية في الفيزياء الذرية بالقرن العشرين ودورها في فيزياء القرن التاسع عشر، فلا بد أن ندرس البديهيات، والعلاقات بين الرموز، والخطط المفاهيمية، التي تشكل أسس هاتين النظريتين الفيزيائيتين. لقد عرفنا (في الفصل ١٢ قسم ٢، ٣) أن المعادلات الأساسية في الميكانيكا النيوتونية تعطي معدل التغير الزمني (المشتقة الأولى) لمتغيرات الحالة du_k / dt، كدلائل للقيم الحالية $u_1,\ldots,u_n$ لهذه المتغيرات: $f_k(u_1\ldots u_n)$. وهذه القيم $u_1,\ldots,u_n$ هي مركبات الإحداثيات والزخوم لنقط كتلية. ونجد في نظرية المجال (الفصل ١٢ قسم٤) أن القوانين السببية هي على شكل

$$\frac{\partial u}{\partial t} = F\left(x,y,z,t, \frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial u}{\partial y}, \frac{\partial u}{\partial z}\right)$$

حيث $u(x, y, z, t)$ تعطي شدة المجال كدالة للموضع في المكان والزمان. ومن قيم u في الوقت الحالي $(t=0)$، يمكن تحديد الزيادة في u في وحدة الزمن $\frac{\partial u}{\partial t}$، ويمكن حساب التوزيع المستقبلي لقيمة u في الفضاء بواسطة عمليات رياضية. ولا يذكر لنا مبدأ السببية ما هو المتغير u الذي ينطبق عليه مثل هذا القانون السببي، ولكنه يذكر فقط أن هناك متغيرات لها هذه الصفة. وقد عرفنا في (الفصل ٨) أن الخطة الرياضية لحساب الظواهر المستقبلية في الفيزياء الذرية تتكون من سعة أمواج دي برولوي. ويمكن صياغة الظروف الابتدائية للتجربة على شكل توزيع هذه السعات بالنسبة للمكان. وعندئذ تتكون الخطة الرياضية من معادلة تفاضلية تتيح للمرء أن يحسب القيم المستقبلية للسعة إذا كانت السعة في الوقت الحالي $(t=0)$ معلومة. وتعرف السعات في المؤلفات الفنية عن نظرية الكم أو ميكانيكا

الأمواج على أنها دوال شرويدنجر[٢]، ويرمز إليها عادة بالرمز $\psi(t, x, y, z)$ ويشار إليها أيضاً بالاسم «دالة ابساي». وتخضع الدلائل لمعادلة تفاضلية لها شكل القانون السببي:

$$-\frac{h}{2\pi i}\cdot\frac{\partial\psi}{\partial t} = -\frac{h^2}{8\pi^2 m^2}\left(\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\psi}{\partial y^2}+\frac{\partial^2\psi}{\partial z^2}\right)+V(x,y,z)\psi$$

حيث m هي كتلة الجسيم الذي يتحرك في مجال قوة ذات طاقة وضع V(x, y, z).

وإذا شئنا أن نستخدم هذا القانون في التنبؤ بالظواهر المرئية، فعلينا أن نضيف إلى المعادلة التفاضلية (النظام الرمزي) التعريفات التشغيلية للرموز. والمعادلة التفاضلية لدالة شرويدنجر فيها ψ دالة مركبة لكل من x, y, z, t بوجه عام. وإذا شكلنا المعيار (norm) للدالة ψ (أي حاصل ضرب ψ في الدالة المركبة المترافقة معها) فإننا نحصل على دالة حقيقية لإحداثيات المكان، تعني متوسط «تردد الإحداث النقطية» (أي الومضات) التي تقع في وحدة الحجوم من المنطقة المحيطة بالنقطة x, y, z. ومن ثم فإننا عندما نكامل معادلة شرويدنجر لا يمكننا التنبؤ بالاحداث النقطية المفردة عند موضع محدد في الفضاء. فكل التنبؤات بالظواهر المرئية هي قوانين إحصائية، لكن مبدأ السببية مستوف هنا على نحو ما، حيث إن هناك متغير حالة ψ يخضع لهذا القانون. وعلى أية حال، ليس هناك قانون سببي للظواهر المرئية لأن التعريف التشغيلي للدالة ψ لا يربط قيمتها بالإحداث النقطية المفردة، ولكنه يربطها بمتوسط إحصائي يتم حسابه من عدد كبير من الأحداث النقطية.

وإذا سألنا سؤالاً صريحاً هل يصلح قانون السببية في الفيزياء الذرية الحديثة أم لا يصلح، فإننا لا نستطيع الإجابة ببساطة بكلمة نعم أو لا. وهذا هو نفس الوضع كما لو سئلنا عما إذا كانت النظرية الأوقليدية (يتوازى المستقيمان إذا كانت المسافة بينهما ثابتة عند كل نقطة من نقطهما) صالحة أم غير صالحة للتطبيق في الهندسة غير الأوقليدية. وليس هناك معنى لهذا السؤال لأنه لا وجود في الهندسة غير الأوقليدية للخطين المستقيمين المتساويي البعد أحدهما عن الآخر. فإذا رسمت جميع النقط بحيث تبعد مسافات متساوية عن خط مستقيم معلوم، فلا يمكن أن

تتصل هذه النقط بخط مستقيم. وعلى نفس المنوال، ليس لقوانين السببية للميكانيكا النيوتونية معنى في الفيزياء الذرية. وفي الميكانيكا التقليدية تتحدد الاحداثيات والسرعات (متغيرات الحالة) ويمكن التنبؤ بها بواسطة القيم الحالية. وإذا سألنا عما إذا كان هذا القانون باقياً في الفيزياء الذرية فلن يكون للسؤال معنى. ففي الواقع أن المواضع والسرعات ليست متغيرات حالة. وليست هناك حالة للنظام يمكن وصفها بالقيم الحالية للمواضع والسرعات؛ ومن ثم فلن يكون من المستطاع أن نسأل في الفيزياء الذرية عما إذا كانت المواضع والسرعات المستقبلية يمكن تحديدها من قيمها الحالية، فليس هناك وجود لمثل هذه الحالة.

وكما عرفنا في (الفصلين ٨، ٩)، يمكننا أن نصف الحالة التقريبية للشيء الذري بأن نسند إليه موضعاً وزخماً مع وجود لا يقين معين في قيمتها. وبدلاً من إدخال جسيم واحد مع لا يقين معين في إحداثياته، يمكن إدخال حشد من الالكترونات مع تشتت معين للاحداثيات. وطبقاً لما جاء بالقسم الحالي، سيكون لهذا الحشد تشتت معين في الزخوم. فإذا رمزنا إلى التشتت في الاحداثيات بالرمز D_q وفي الزخوم بالرمز D_p، فسوف نجد من علاقة اللايقين أن $D_q.D_p=h$. ويمكن استنباط هذه العلاقة من معادلة شرويدنجر، أي من القانون السببي الذي تخضع له دالة ψ. وقد عرفنا أن المعنى التشغيلي للدالة ψ يرتبط بتوزيع الجسيمات حول نقطة معينة x, y, z في الفضاء، ومن ثم فإنه يرتبط بالتشتت D_q. ولن نستطرد في الاستنباط إلى أبعد من ذلك تجنباً للمزيد من المعالجات الرياضية الفنية.

وما يهمنا هو أن نؤكد على النقطة التالية: إذا حاولنا تقريب «حركة» شيء ذري بتشبيهها بحركة حشد من الجسيمات الحقيقية، نجد أن التشتت في هذا الحشد D_q , D_p لا يمكن أن يختفيا في آن واحد، لأن $D_q.D_p=h$. ويجب أن نتذكر أيضاً أن هذه العلاقة لا ترتبط بأي نوع من التفسير «الفلسفي»؛ فهي مستنبطة من تلك المبادىء في الفيزياء الذرية التي تستخدم في التنبؤ بتلك الوقائع المرئية التي تعتبر نتائج لأحداث ذرية. وكثيراً ما نقرأ فيما يعرض على المستوى الشائع: لا يمكن تحديد موضع الالكترون تحديداً دقيقاً، ومن ثم فإن مستقبله لا يمكن تحديده بوضوح بواسطة حاضره. وفي الواقع أن هذا النص يعني أننا عندما نعالج الأشياء

الذرية معالجة تقريبية عن طريق حشود الجسيمات الحقيقية فإن تشتت الاحداثيات والزخوم في مثل هذا الحشد لا يمكن أن يختفيا في آن واحد.

ويمكن أن نجمل دور القانون السببي في الفيزياء الذرية فيما يلي: ليست هناك قوانين نستطيع أن نتنبأ بواسطتها من أية وقائع مرئية حالية بالمواضع المستقبلية الدقيقة للأحداث النقطية. وبتعبير آخر، ليست هناك متغيرات حالة نستطيع أن نحافظ على قيمها الابتدائية في نطاق حدود ضيقة معينة ونستطيع أن نتنبأ منها بدقة بمستقبل حادث نقطي مفرد. وإذا حاولنا إدخال جسيمات حقيقية على سبيل التقريب فإننا نلاحظ أن التشتت في إحداثياتها وزخومها لا يمكن تقليصهما في آن واحد في الحالة الابتدائية للشيء الذري. ومن ناحية أخرى، يجب أن ندرك أن هناك متغيرات (مثل ψ) في الفيزياء الذرية، تتيح لنا أن نتنبأ بالقيم المستقبلية إذا عرفنا القيم الحالية، ولكن هذه المتغيرات ترتبط بالأحداث النقطية المرئية بواسطة تعريفات تشغيلية بحيث لا يمكن أن نحصل من معرفتنا ψ عند لحظة معينة في المستقبل إلا على معرفة إحصائية لمواضع الأحداث النقطية.

ونستنتج من كل هذه الاعتبارات أن السؤال عما إذا كان قانون السببية لا يزال باقياً في الفيزياء الذرية بالقرن العشرين هو سؤال لا يمكن الإجابة عنه ببساطة بكلمة نعم أو لا. فهناك تغير تدريجي ـ فالحتمية لنيوتن ولابلاس القائمة على تعريف الحالة التي يمكن فيها الإبقاء على الموضع والسرعة ضمن حدود ضيقة، يجب أن تحل محلها نظرية التتامية لبوهر حيث ينطوي «اللايقين» أو تشتت الموضع على حدود معينة للزخم.

ويقول بوهر بكل اقتدار[٣]: يمكن اعتبار وجهة نظر التتامية تعميماً منطقياً لنفس فكرة السببية.

٢ ـ المعايير «العلمية» لقبول النظريات

بعد الاعتبارات في (الفصل ١٤) التي تنتمي إلى مجال المنطق الاستدلالي والاستقرائي سوف نختتم حوارنا بمناقشة «قبول» النظريات باعتباره أحد نشاطات رجل العلم. ونعود من العنصر «المنطقي» لحوارنا إلى عنصره «الذرائعي». يصبح

هذا العنصر ذا أهمية خاصة عندما نكون بصدد النظريات عالية التعميم، مثل نظرية النسبية، ونظرية التتامية لبوهر، ونظرية التوالد التلقائي (نشوء الكائنات الحية من المواد غير العضوية)، إلخ.

وقد ارتبط التمييز بين العنصر «المنطقي» والعنصر «الذرائعي» في تقديم العلم ارتباطاً وثيقاً بظهور آراء جديدة في القرن العشرين بشأن البنية المنطقية للعلم.

كان تقديم العلم، في التقاليد الأرسطوية والسكولاستية مبنياً على خطة مكونة من عنصرين (خطة «ثنائية»): الكون الموضوعي الحقيقي، وصورة الكون كما يعطيها رجل العلم. وقد اعتبر هذان العنصران متفقين كل منهما مع الآخر مثل اتفاق الصورة الفوتوغرافية مع الأصل. كانت الحقيقة، بتعبير الفلسفة التوماسية، هي الاتفاق بين عقل الانسان وأشياء الكون الحقيقي. وقد ظل هذا الرأي قائماً حتى نهاية القرن التاسع عشر في عديد من مدارس الفلسفة. وكمثال صارخ على ذلك، يمكننا أن نستشهد بذلك الحماس الديني المتقد، تحت اسم «نظرية الانعكاس»، حيث طبقت تلك الخطة «الثنائية» على العلم في الفلسفة الرسمية للاتحاد السوفيتي، والتي أعقبت توجيه الكتاب الرئيسي في الفلسفة للينين(٤). وتقضي هذه النظرية بأن على النظرية أن تكون انعكاساً للحقيقة.

وفي أواخر القرن التاسع عشر، اقترح س. س. بيرس إدخال خطة ثلاثية(٥) في تقديم العلم. وتتكون هذه الخطة من الشيء المرئي، والعالم المشتغل، والعلامات التي يخترعها العالم (كعنصر ثالث) لكي يقدم بها العلم(٦). وهذه خطة تبنتها الحركات الكبيرة في فلسفة العلم في القرن العشرين وقد تبنى هذه الخطة الثلاثية بوجه خاص كل من أتباع الفلسفة الذرائعية، والفلسفة الوضعية المنطقية، والفلسفة التشغيلية، ودارسي دلالات الألفاظ وتطورها. وقد ورد تحديدها وتمحيصها بوضوح فيما نشره رودولف كارناب وتشارلز موريس في International Encyclopedia of Unified Science(٧). ويرى هذان العالمان أن العلم يفحص أولاً العلاقات بين الأشياء الفيزيائية وبين العلامات أو الرموز؛ وتسمى نتيجة هذا الفحص بعنصر «تركيب الألفاظ» في العلم. أما العلاقات بين الرموز فتؤلف

العنصر «المنطقي». وعلينا أن ندرس عنصراً ثالثاً وهو العلاقات بين العالم ورموزه أو، بعبارة أخرى، العلاقات بين نظريات العالم وبين الظروف الاجتماعية والسيكلوجية التي يعمل في ظلها. ودراسة هذه العلاقات تشكل العنصر «الذرائعي» وفي الدراسات المعتادة التي يجريها العلماء، غالباً ما يركزون على العنصر المنطقي وعنصر تركيب الألفاظ. فهم يقبلون النظرية إذا كانت متماسكة منطقياً ومتفقة مع الوقائع المنظورة. أما إذا نظرنا إلى النظريات عالية التعميم فإننا نلاحظ أنها لا تتحدد تحديداً فريداً بواسطة هذين المعيارين. وعلينا هنا أن نضع في اعتبارنا العنصر الذرائعي أيضاً، أي تأثير العامل الاجتماعي والعامل السيكلوجي على نظم الرموز التي أقامها العالم كجزء من الكون الفيزيائي والسيكلوجي. ويجرنا هذا إلى ما نسميه اليوم «بالعلوم السلوكية».

من المفهوم، عموماً، لدى العلماء، أنه من الناحية العلمية البحتة لا تؤلف منظومة من الفروض نظرية مقبولة إلا إذا كانت المنظومة صحيحة من الناحية المنطقية، وكانت نتائجها متفقة مع الوقائع المرئية. وبما أنه من المؤكد أننا لا يمكن أن ندقق كل النتائج بواسطة التجربة، فالأحرى بنا أن نقول إن النظرية يمكن قبولها إذا لم تتعارض إحدى نتائجها مع التجربة، بشرط أن يكون عدد الاختبارات كبيراً بما فيه الكفاية. وليس من المهم بالنسبة «للعلم بمعناه الحديث» ما هو نمط المفاهيم وما هو نمط العلاقات بين المفاهيم الذي نجده في فرض النظرية، بشرط ألا تتعارض المشاهدات مع أي نتيجة مستخلصة من هذه النظرية. وبالطبع يجب دائماً أن نعتبر أن فروض النظرية لا تتألف فقط من العلاقات بين المفاهيم الأساسية (أو الرموز الأساسية) ولكنها تتألف أيضاً من «التعريفات التشغيلية» التي تربط بين النصوص المتعلقة بالرموز الأساسية وتلك التي تتعلق بالوقائع المرئية. وبمقتضى هذه المعايير تتدقق النظرية (العلاقة بين الرموز وتعريفاتها التشغيلية) إذا كانت متفقة مع النتائج المرئية التي اختبرت بالمشاهدة الواقعية. أما إذا كانت النظرية قد «دققت» بالمعنى الذي وصفناه من قبل فلا يمكن أن نستدل من ذلك على أن النظرية «صالحة»، وإنما نستدل فقط على أنها «ربما تكون صالحة». فما هو المعيار الذي يتخذه العلماء عند الاختيار بين عدة نظريات كل منها ربما يكون صالحاً؟

وعموماً سيقول العلماء إنه من بين النظريات العديدة التي وضعوها لتفسير

مجموعة معينة من الوقائع المرئية، سوف تبرز واحدة من بين هذه النظريات كأفضلها، وسوف تقبل بوجه عام. وإذا اتبعنا نصيحة ريشينباخ (الفصل ١٤ قسم ١) فيجب أن نقول إننا نقبل من بين النظريات «أكبرها احتمالاً». وطبقاً للنظرية الإحصائية للاحتمالات، فإن ذلك يعني أن النظرية التي يجب قبولها هي التي تبدي اتفاقاً مع الوقائع المرئية أكبر مما تبديه النظريات الأخرى. ومع ذلك، فإن هذا الاتفاق لا يمكن أن يكون المعيار الوحيد للقبول. فإذا كان ذلك صحيحاً فإن أفضل نظرية هي مجرد وصف الوقائع؛ غير أن هذا لا يكون نظرية على وجه الاطلاق. وكما ذكرنا مراراً، تحقق تقدم العلم دائماً بتدبير معيار في الاقتصاد والبساطة. والمعايير التي وضعها ريشينباخ وكارناب والتي تقوم (مثل المنطق الاستقرائي لجون ستيوارت ميل) على الاتفاق مع المشاهدات، يجب استكمالها بمعيار الاقتصاد والبساطة التي أدخلها في نظرية العلم رجال مثل وليام أوكهام، واسحق نيوتن، وأرنست ماسن. وقد أكد كل من فون ميزس وبرنوسكي (الفصل ١٣) على أهمية أن تكون هناك في القرن العشرين معايير أخرى غير مجرد الاتفاق والمشاهدة.

وقد يزعم معظم العلماء المعاصرين أنه من بين كل النظريات التي تستطيع أن تفسر نفس الوقائع المرئية، يتم اختيار أبسط النظريات؛ غير أن السؤال الذي يطرح نفسه هو، كيف نحدد درجة البساطة. وإذا تقيدنا بمفهوم «البساطة الرياضية» فإن كل انسان سوف يوافق على أن المعادلة الجبرية من الدرجة الأولى هي أبسط من معادلة من الدرجة الثانية أو الثالثة. لقد أدت النظرية الكوبيرنيكية إلى الدوائر المشتركة في المركز كوصف هندسي للحركة الكوكبية التي تناظر وصفاً تحليلياً بواسطة دلائل مفردة في حساب المثلثات. ومن المؤكد أن هذا الوصف كان أبسط من الوصف الذي قدمته النظرية البطليموسية التي لجأت إلى الاستخدام الهندسي «لأنشوطات» يمكن تمثيلها تحليلياً سلسلة من دلائل حساب المثلثات (مسلسلات فورير). وخلال النزاع الطويل الذي قام بين النظرية الموجية والنظرية الجسيمية للضوء، كان أحد أسباب تفضيل النظرية الجسيمية هو ما أسفر عنه الجدل حول «البساطة». وقد أدت هذه النظرية رياضياً إلى المعادلات التفاضلية لحركة جسيم، وهي التي تصاغ بواسطة قوانين نيوتن للحركة. وتؤدي هذه

القوانين إلى معادلات تفاضلية عادية من الدرجة الثانية. أما النظرية فقد أدت إلى المعادلة الموجية التي كانت معادلة تفاضلية جزئية من الدرجة الثانية والتي يجب حلها تحت قيد من الظروف المتاحة. وكانت هذه في بداية القرن التاسع عشر مشكلة أيسر كثيراً من حل المعادلات التفاضلية العادية. ومن ثم فإن البساطة الرياضية كانت من الذرائع المتوسل بها في صالح النظرية الجسيمية. وبالطبع، فإن هذا الفارق في البساطة صار أقل وضوحاً بعد تطور نظرية المعادلات التفاضلية الجزئية. ومن ثم يتضح لنا أن طريقة حكمنا على البساطة الرياضية للنظرية إنما تتوقف على حالة العلم في حقبة معينة. وقد كانت هناك فترات تعتبر فيها النظرية المعينة نظرية بسيطة إذا تجنبت استخدام حساب التفاضل والتكامل الدقيق وقيدت نفسها «بالرياضيات الأولية».

وبالطبع هناك من يسأل: «لماذا» يجب أن نفضل «النظرية البسيطة»؟ يقول بعض العلماء إنهم يفضلونها لأن المعادلات «البسيطة» تتيح حساب النتائج على نحو أسهل وأسرع؛ إنها «اقتصادية» لأنها توفر الوقت والجهد. ويقول غيرهم من المؤلفين إن النظريات البسيطة أكثر «روعة» و«جمالاً». فهم يفضلون النظريات البسيطة لأسباب «جمالية». وعلى أية حال، فنحن نعلم من تاريخ الفنون الدقيقة أن المرء يكتسب تفضيلاً جمالياً معيناً نتيجة لأسلوب معين في الحياة، أو نموذج ثقافي واجتماعي معين. وكثير جداً من العلماء ذوي الخلفية الرياضية يتحمسون لنظرية الجاذبية لأينشتاين لأن معادلاتها على درجة فائقة من البساطة والجمال الرياضي. ومع ذلك، نجد من بين الفيزيائيين التجريبيين والفلكيين الرصديين من يرى أن هذه المعادلات بالغة التعقيد، وأنه ليس هناك ما يستحق إدخال مثل هذه المعادلات المعقدة من أجل استنباط عدد قليل جداً من الوقائع التي قد تكون موضع اختلاف في الرأي.

وإذا درسنا ما هي النظريات التي كانت موضع تفضيل بسبب بساطتها، نجد أن السبب القاطع لقبولها لم يكن سبباً اقتصادياً أو جمالياً، بل كان ما يسمى غالباً «ديناميكية النظرية». أي أن النظرية التي كانت موضع تفضيل هي النظرية التي أثبتت أنها تجعل العلم أكثر «ديناميكية»، أي أقدر على التوسع إلى مجالات غير معروفة. ويمكن أيضاح ذلك باستخدام المثال الذي استشهدنا به عدة مرات في

هذا الكتاب، وهو الصراع بين النظام الكوبيرنيكي والنـظام البطليمـوسي. ففي خلال الفترة ما بين كوبيرنيكوس ونيوتن، أثيرت أسباب كثيرة في صف هذا النظام أو ذاك. وفي نهاية الأمر قدم نيوتن نظريته في الحركة، وهي النظرية التي تفسر كل حركات الأجرام السماوية (مثل المذنبات) تفسيراً ممتازاً، أما النظام الكوبيرنيكي أو النظام البطليموسي فقد كانا يتناولان الحركة في مجموعتنا الكوكبية فقط. بل إنهما حتى في هذا المجال المحدود قد أهملا «الحركة الاضطرابية» في مسار الكوكب نتيجة تفاعله مع الكواكب الأخرى. وعلى أية حال، فقد استمدت قوانين نيوتن جذورها من تعميمات للنظرية الكوبيرنيكية، ومن العسير أن نتصور كيف يكون حالها لو كانت قد استمدت هذه الجذور من النظرية البطليموسية، ومن هذا المنطلق، ومن كثير غيره، كانت نظرية كوبيرنيكوس هي النظرية الأكثر «ديناميكية»، أو، بتعبير آخر، كانت ذات قيمة توجيهية أكبر. ويمكننا القول إن النظرية الكوبيرنيكية كانت من النـاحية الـرياضيـة «أبسط» من النظريـة البطليمـوسيـة، وأيضـاً أكـثر منهـا ديناميكية.

وعندما نفحص ما استقر عليه الاختيار بين النظريات بالفعل، نجد أنه يبدو أن هناك قاعدة عامة وهي أن النظرية البسيطة من الناحية الرياضيـة تكون أيضـاً نظرية ديناميكية، ملائمة لأن تعمم إلى نظريات تغطي نطاقاً عريضاً من الوقائع. وقد سبق أن قدمنا مثالين: نظرية مكسويل للمجال الكهـرومغنطيسي، ونـظرية الجاذبية لأنيشتاين. فهما تبينان بوضوح كبير كيف يمكن للتبسيط الرياضي للوقائع المرئية أن يؤدي إلى تقديم نظريات كبيرة التعميم تكـون هذه الـوقائـع بعضاً من نتائجها الخاصة جداً. لقد أوضحنا حتى الآن أن ما يتطلبه العلماء لقبول النظرية بالمعنى الحديث هو «الاتفاق مع المشاهدات» و«البساطة». وهناك بالطبع سؤال لم نتعرض له عند ذكر هذين المطلبين: أي من هذين يفوق الآخر في الأهميـة؟ وقد يبدو للوهلة الأولى أن هذا سؤال تافه، ولكن هناك حالات كثيرة نواجه فيها بهذا السؤال: إذا كان علينا أن نختار بين نظريتين تتفق إحداهما مـع الوقـائع ولكنهـا شديدة التعقيد، أما الأخرى فهي أكثر بساطة ولكنها أقل اتفـاقاً مـع الوقـائع في بعض التفاصيل، فأي النظريتين نختار؟ لو سألنا رجل العلم فالمحتمل أن يجيب بأنه يختار النظرية التي تتفق مع الوقائع، أما «البساطة» فتحتل أهميتها مرتبة ثانوية.

ولكننا إذا أمعنا التفكير في مثل هذه الاجابة فسوف نبين شططها. فمن الواضح أن قيمة النظرية تكمن في اتصافها بأنها أكثر بساطة، قبل أن تكون مجرد سجل للمشاهدات. ومن المؤكد أنه لا توجد نظرية تتفق مع كل مشاهداتنا اتفاقاً تاماً. وإذا تطلبنا مثل هذا الاتفاق التام فيمكننا بالتأكيد أن نحققه بمجرد تسجيل المشاهدات. غير أن مثل هذا السجل لا يمكن لأحد أن يعتبره نظرية مقبولة بالرغم من اتفاقه التام مع المشاهدات. فالنظرية إنما تتخذ صفة النظرية لأنها تفوق سجل المشاهدات بساطة وإيجازاً. ومن ثم فإن قبول النظرية هو دائماً نتيجة تسوية بين مطلبي «البساطة» و«الاتفاق مع المشاهدات».

وعلى أية حال، إذا نظرنا إلى الأسباب التي من أجلها تقبل النظرية في الواقع العملي، فسرعان ما نلاحظ أن البساطة والاتفاق مع الوقائع ليسا الصفتين الوحيدتين اللتين يجب أن تتصف بهما النظرية العلمية. وعندما نتذكر، على سبيل المثال، موقف فرنسيس باكون تجاه النظرية الكوبيرنيكية[٨] فسوف نلاحظ أنه يفضل النظرية البطليموسية لأنها أكثر اتفاقاً مع الفطرة السليمة. وقد سبق أن ناقشنا هذا المطلب في عدة مناسبات، وعلينا أن نعرف أن العلماء قد أقروا في الواقع ثلاثة مطالب: الاتفاق مع المشاهدات، والبساطة، والاتفاق مع الخبرة السليمة. ويجب أن نشير إلى ما نعتبره «بساطة» و«فطرة سليمة» هو من شؤون الخلفية الاجتماعية للنظرية. ومن ثم فإن هناك ما يبرر قصر المعايير «العلمية البحتة» على الاتفاق مع الوقائع. وعندئذ يجب علينا أن نعتبر «البساطة» و«الاتفاق مع الفطرة السليمة» معيارين «اجتماعيين». وبما أن العلماء قد قبلوا هذين المعيارين فعلاً في كثير من الحالات، فمن العسير أن نرسم خطاً واضحاً يفصل المعايير العلمية عن المعايير الاجتماعية عندما ننتقل إلى الجانب «الذرائعي» من الحوار.

٣ ـ دور الأسباب «فوق العلمية»

عندما تحطمت السلسلة التي تربط العلم بالفلسفة[٩] في القرن السابع عشر، بدا عندئذ أن «الحقيقة العلمية» تقوم على أساس معيار الاتفاق مع الوقائع. وكما عرفنا في القسم السابق، هذا ليس صحيحاً حرفياً. فقد لعبت «البساطة»

و«الاتفاق مع الفطرة السليمه» دورهما دائماً، وجعلا قرارات العلماء تتأثر ببعض الأسباب الاجتماعية والسيكلوجية. وإذا تذكرنا أن أسباباً من هذا النوع قد لعبت دوراً في العلم في كل الأوقات، فلن نندهش إذا كان الطرف الفلسفي للسلسلة التي تربط بين «الوقائع» و«المبادىء» لم يختف اختفاء تاماً في أي وقت من الأوقات. وبتعبير آخر، لم يحدث قط أن اقتصر العلم اقتصاراً تاماً على خدمة التكنولوجيا. ومن ثم فقد كان هناك دائماً دخل للمعايير التي تختلف عن المعايير العلمية بمعناها الضيق. وإذا استشهدنا مرة أخرى بالمثال القديم ـ وهو النظرية الكوبرنيكية ـ فيمكننا أن نرى بوضوح أن كثيرين من العلماء والفلاسفة الذين أقروا بأن هذا النظام «بسيط من الناحية الرياضية و«متفق مع الوقائع» قد رفضوا هذا النظام لأسباب من نوع مختلف تماماً.

من اليسير أن نتبين من أمثلة معروفة جيداً أنه عبر الأجيال، كانت النظرية تقبل أحياناً لملاءمتها في مساندة سلوك منشود من جانب المواطنين، أو، بإيجاز، في مساندة السلوك الطبيعي. وفي العصر القديم كانت فيزياء أرسطو وأفلاطون أكثر ملاءمة لهذا الفرض من فيزياء أبيقور. كان أرسطو يرى أن الأجرام السماوية تتركب من مواد أكرم من مواد أرضنا، بينما كان مذهب «المادية» لأبيقور يقول بأن هذه الأجسام جميعاً تتركب من نفس العناصر. وقد زاد هذا المذهب الأخير في صعوبة تعليم الناس بوجود فارق بين الكائنات المادية والكائنات الروحية. ولما كان كثير من المربين ورجال الدولة مقتنعين بأن الإيمان بهذا الفرق من الأمور الهامة في تربية مواطنين صالحين، فقد نبذت الجماعات القوية مذهب أبيقور. ومن الأمثلة المفيدة أفلاطون الذي دعى في وصفه «للحكومة الصالحة» إلى إخراس أتباع الفلسفة الأبيقورية.

ومثال آخر من التاريخ هو الصراع ضد أفكار كوبيرنيكوس وجاليليو على أساس أنهما قد جعلا من تأييد فيزياء أرسطو أمراً أكثر صعوبة وتعقيداً. فقانون القصور الذاتي، مثلاً، قد زاد، على نحو ما، في صعوبة الافتراض بأن الجسم لا يمكن أن يتحرك إلا إذا حركه جسم آخر (وهو الفرض الذي كان أرسطو وسان توماس يأخذان به) كان هذا الفرض مستخدماً في براهين هامة على وجود المحرك

الأول؛ وهـذا، بدوره، كـان مهماً في إثبـات وجـود الله. ومن السهـل علينـا أن نستشهـد ببعض الأمثلة من العلوم المعـاصـرة. وأوضـح مثــال نجـده في نفــوذ الحكومات التي تعتبر الفلسفة المـادية سنـداً لسلوك أخـلاقي منشود، وهي لهـذا تتحيز للنظريات العلمية التي تسـاند المـادية. ومن الأمثلة المـألوفـة عداء روسيـا السوفيتية ضد نظرية النسبية لأينشتاين.

وكثيراً ما يميل العلماء والناس ذوو العقلية العلمية للقول بأن هذه التأثيرات «غير العلمية» على قبول النظريات هي شيء لا يصـح أن يحدث؛ ولكن بمـا أنها تحدث فعلاً، فمن الضروري أن نفهم وصفها في نطاق تحليل منطقي للعلم. وقد عرفنا من العديد من الأمثلة أن المبادىء العامة في العلم لا تتحدد تحديداً غير مبهم بواسطة الوقائع المرئية. فإذا أضفنا شرطي البسالة والاتفاق مع الفطرة السليمة، فإن التحديد يصبح أكثر دقة ولكنه لا يصبح تحديداً فذاً منفرداً. فما زلنا نستطيع أن نطالب بأن تكون النظريـات ملائمـة لمسانـدة المذاهب الأخـلاقية والسيـاسية الطبيعية المنشودة. إن كل هذه المطالب تتدخل مجتمعة في تحديد النظرية العلمية. والاقتناع الراسـخ لدى معـظم العلماء بأن قبـول النظريـة يجب أن يبنى فقط على «أسس علمية». هذا لاقتناع يمثل فلسفة سبق أن تشربوها وهم طلاب صغار السن في الفترة التي بدءوا فيها تحصيل المعرفة بالكون؛ وتزعم هذه الفلسفة أن النظرية «الحقيقية» تعطينا «صورة للحقيقة الفيزيائية»، وأنه يمكن العثور على هذه النظرية على أساس الوقائع المرئية. وإذا كانت النظرية التي بنيت فقط بسبب اتفاقها مـع الوقائع المرئية تنبىء «بحقيقة» الكون، فإن من الحماقة أن نفترض أن قبول هذه النظرية يجب أن يتأثر بأسباب البساطة والاتفاق مع الفطرة السليمة، ناهيك عن الأسس الدينية والسياسية الطبيعية. وعلى أية حال، فقد عـرفنا أن «الاتفـاق مع الوقائع المرئية» لا يمكن أن يفرز نظرية واحدة فقط تتفق اتفاقاً تاماً مع كل الوقائع المرئية، ولكن هناك عدة نظريات تتفق كل منها اتفاقاً جـزئياً مـع هذه الـوقائـع. وعلينا أن نتحيَّز النظرية النهائية من خلال عملية تسوية. فالنظرية النهائية يجب أن تتفق اتفاقاً مناسباً مع الوقائع المرئية، وأن تكون أيضاً بسيطة بدرجة مناسبة. وإذا تأملنا هذه النقطة فسوف يتضح لنا أن مثل هـذه النظريـة «النهائيـة» لا يمكن أن تكون «الحقيقة».

وعلى كل حال، فإن هذا المفهوم الميتافيزيائي للنظرية الصحيحة بأنها «نسخة طبق الأصل من الحقيقة الفيزيائية» لم تعد سائدة في الفلسفة العلمية الآن. فالنظرية تعتبر الآن أداة تخدم غرضاً محدداً. ويجب أن تساعد على التنبؤ بالوقائع المرئية المستقبلية على أساس الوقائع التي شوهدت في الماضي أو في الحاضر. ويجب أن تساعد النظرية أيضاً في الإسهام في تدابير يمكن أن توفر لنا في الوقت والجهد. والنظرية العلمية هي، على نحو ما، أداة تنتج أدوات أخرى طبقاً لخطة عملية. وتقبل النظريات العلمية أيضاً لأن تزودنا بصورة بسيطة وجملية للكون، ولأنها تساند فلسفة ما وهذه بدورها تساند أسلوباً منشوداً في الحياة(١٠).

ولا يمكن الإجابة عن السؤال عما هي النظرية التي «يجب» قبولها إلا إذا عرفنا ما الذي «يجب» أن نفضله من بين التنبؤ بالوقائع، وبناء التدابير (أو الأجهزة)، والجمال والبساطة، وملاءمتها لأن تساند الأهداف الأخلاقية والسياسية. ويمكننا أن نفهم هذا الوضع إذا قارناه بالسؤال عن الطائرة التي نفضلها. فكما نتمتع بجمال الطائرة وروعتها يمكن على نفس النحو أن نتمتع بجمال وروعة النظرية التي تتيح لنا بناء الطائرة. وإذا تحدثنا عن طائرة مفردة فلن يكون هناك معنى للسؤال عما إذا كانت «صحيحة» بمعنى أنها مثالية. ويمكننا أن نسأل عما إذا كانت «جيدة» أو «مثالية» لهدف معين. فإذا كان هدفنا هو «السرعة» فسوف تختلف الطائرة المثالية عن الطائرة المثالية لهدف «التجمل» وسوف يختلف معيار المثالية مرة أخرى إذا كان الهدف من الطائرة هو «الأمان» أو «المتعة» أو «ملاءمتها للقراءة والنوم». ومن المستحيل بناء طائرة تحقق كل هذه الأغراض على نحو كامل؛ ويجب أن نجري نوعاً من التسوية. ولكي نحدد نوع التسوية التي «يجب» إجراؤها، علينا أن نقرر أيها أهم: السرعة أم الأمان أم المتعة أم قوة الاحتمال؟ ولا يمكن استنباط الإجابة على هذا السؤال من العلم الفيزيائي أو لهندسي. فمن وجهة نظر «العلم بمعناه المحدد»(١١) يكون الهدف اختيارياً؛ العلم يعلمنا فقط كيف نبني الطائرة إذا عرفنا مسبقاً ما هي السرعة ودرجة الأمان للتين يجب تحقيقها. ومع ذلك، فإن العلاقة المرغوبة بين السرعة والأمان تتوقف لى الآراء الأخلاقية والسياسية بل والدينية. وتتوقف التسوية على ميول ليست وضع اتفاق. فمن وجهة نظر «العلم بمعناه المحدد»، فإن السلطات التي تضع

السياسة حرة في اختيار الطائرة التي تنتجها، وذلك وفقاً لميول هذه السلطات. ومع ذلك، فإننا إذا نظرنا إلى الوضع من وجهة نظر العلم الموحد الذي يشمل العلم الفيزيائي والعلم الاجتماعي، فسوف نفهم أن الظروف الاجتماعية والسيكلوجية هي التي تحدد التسوية بين السرعة والأمان، أو بين المتعة وقوة التحمل. وإذا عبرنا بطريقة شديدة التبسيط بل أقرب إلى الثرثرة، فإننا نقول إن الانعكاسات اللا إرادية المشروطة لصانعي السياسة هي التي تحدد التسوية. وقد يتم الإشراط مثلاً بإرسال خطابات إلى النواب. وإذا التزمنا بالفلسفة الذرائعية للعلم، فإننا نقول إن قبول النظرية العلمية لا يختلف في أساسه عن قبول الطائرة.

وقد نسأل لماذا قبلت نظرية علمية ـ مثلاً، النظرية الكوبيرنيكية للحركة الكوكبية، أو نظرية النسبية لأينشتاين ـ على أنها نظرية صحيحة أو مثالية. وطبقاً للاعتبارات السابقة، لا يمكن الإجابة عن هذا السؤال إلا إذا أجبنا أولاً على السؤال: ما هو الفرض المراد من النظرية أن تخدمه؟ هل هو الفرض الفني البحت للتنبؤ بالوقائع المرئية؟ أم هل هو الحصول على نظرية بسيطة ورائعة تتيح لنا استنتاج عدد كبير من الوقائع من مبادىء بسيطة؟ إن علينا أن نفضل النظرية التي تناسب غرضنا. فالغرض الرئيسي من النظريات العلمية بالنسبة لبعض الجماعات قد يكون استخدامها كسند لتعليم الناس أسلوباً للحياة، أو أن ينفرهم من أسلوب آخر غير مرغوب فيه. وقد تقبل مثل هذه الجماعات النظريات التي قد تعطي صورة تقريبية للوقائع المرئية، بشرط أن نستطيع أن نحصل فيها على صورة للكون يلعب فيها الإنسان الدور الذي يرونه دوراً مرغوباً فيه.

وإذا أردنا أن نتحدث في إيجاز وبطريقة روتينية، فإننا نستطيع أن نميز بين غرضين أساسيين للنظريات: الاستخدام في بناء الأجهزة والتدابير (أغراض تكنولوجية)، والاستخدام في التوجيه المباشر للسلوك البشري. لقد كان القبول الفعلي للنظريات دائماً عملية تسوية بين القيمة التكنولوجية والقيمة الاجتماعية للنظرية. وقد تأثر السلوك البشري تأثراً مباشراً بالقيمة الاجتماعية لأن آراء دينية وسياسية معينة قد نالت تشجيعاً، أما التأثير التكنولوجي على السلوك البشري فقد كان تأثيراً غير مباشر ـ فالتغيرات التكنولوجية تحدث تغيرات اجتماعية وهذه

تبتدىء على شكل تغيرات في السلوك البشري. ويعلم كل انسان بالثورة الصناعية في انجلترا في القرن التاسع عشر وما صحبها من تغيرات في السلوك البشري. ومن المحتمل أن يقترن ظهور التكنولوجيا الذرية في القرن العشرين بظهور تغيرات مماثلة في حياة الإنسان.

ويعتقد كثير من العلماء والمربين أن الصراع بين الأهداف التكنولوجية والأهداف الاجتماعية للنظريات العلمية كان قائماً في بعض الفترات «المظلمة» من التاريخ، وأنه لا يزال قائماً في البلاد «المظلمة». ولكنه اختفى إلى حد كبير مع تقدم العلوم، وخاصة العلوم الحرة. وطبقاً لهذه الفكرة يمكننا الآن أن نحدد في غير غموض، باستخدام «اسلوب العلم» ما هي النظرية الصالحة. ومن المؤكد أن الفكرة ستكون خاطئة إذا كنا نتناول نظريات عالية التعميم. ونلاحظ في فيزياء القرن العشرين، مثلاً، أن الصيغة المعنية في مبادىء نظرية الكم[١٢] قد تقبل أو ترفض تبعاً لما إذا كان من المعتقد أن إدخال فلسفة الحتمية في الفيزياء سوف يخدم الالتزامات الأدبية أم لا. وقد اقتنع كثير من المربين، بل ومن السياسيين اعتقاداً جازماً بأن «الارادة الحرة» لا تأتلف مع الفيزياء النيوتونية، ولكنها تأتلف ائتلافاً شديداً مع نظرية الكم. وقد كانوا مقتنعين أيضاً بأن إيمان المواطن بالإرادة الحرة أمر مرغوب فيه، وقد مارسوا ضغوطاً معينة في صالح صياغة الفيزياء الذرية الفرعية صياغة «لا حتمية». ولا شك أن ما يعتمل في أذهانهم هو الغرض الاجتماعي من العلم أياً كانت أغراضه التكنولوجية.

وقد أصبح هذا الدور المزدوج للنظريات العلمية أشد وضوحاً في علم الأحياء (البيولوجيا). وإذا درسنا موقف البيولوجيين تجاه موضوعات عامة جداً، يمكننا أن نتناول على سبيل المثال، الموضوع الخاص بما إذا كانت الكائنات الحية قد نشأت من مادة غير حية أم لا. وهنا نجد الصراع بين الفرض التكنولوجي والفرض الاجتماعي للنظريات يصل إلى ذروته. يرى بعض البيولوجيين البارزين أن «التوالد التلقائي» أمر كبير الاحتمال (مثل جورج والد[١٣] وج.ج. سمبسون[١٤])، بينما يزعم آخرون أن هذا الاحتمال يكاد يكون صفراً طبقاً لحساباتهم[١٥]. وعندما نتتبع الموضوع بطريقة علمية حازمة طبقاً لطرق

الفيزياء الرياضية، نجد بسهولة أننا لا نستطيع أن نجد أي قيمة لهذا الاحتمال يمكن أن تكون موضع ثقة. يعتقد فريق أن النظريات البيولوجية يجب أن تدعم كرامة الإنسان حتى لا يتعذر على السلوك المعتاد أن يبنى على العلم. وسوفُ تضام هذه الكرامة إذا كان الإنسان لا ينحدر فقط من القرود، ولكنه ينحدر أيضاً من التراب والحجر. ويعتقد فريق آخر أن افتراض «التوالد التلقائي» من شأنه أن يدعم الإيمان بوحدة الطبيعة ككل، وعلى هذا الأساس سيكون سنداً للسلوك الطبيعي للإنسان.

ونرى من كل هذه الاعتبارات أننا لا يمكن أن نحكم على صحة النظرية ما لم نصف غرضاً معيناً من وراء هذه النظرية.

ويعتمد إنجاز هذا الغرض على درجة استيفاء المعايير المختلفة لقبول النظرية، وهي الاتفاق مع الوقائع المنظورة، والبساطة والروعة، والاتفاق مع الفطرة السليمة، وملاءمتها لمساندة سلوك بشري مرغوب فيه، . . . إلخ. ومن ثم فإنه لا يمكن الحكم على صلاحية النظرية بواسطة المعايير «العلمية» بالمعنى الدقيق: أي باتفاقها مع المشاهدات، وبتماسكها المنطقي. وبعد تطبيق كل هذه المعايير، يبقى في غالب الأمر أن نختار بين عدة نظريات. فإذا كان ما نعنيه بالعلم ليس هو العلم الفيزيائي فحسب ولكن أيضاً علوم السلوك البشري (علم الاجتماع وعلم النفس)، فيمكننا أن نختار من بين النظريات الفيزيائية تلك النظرية التي تحقق غرضاً إنسانياً معيناً على أحسن وجه.

ونجمل ما سبق فيما يلي: إن مشكلة الاختيار بين النظريات المختلفة في العلوم الفيزيائية لا يمكن حلها في نطاق هذه العلوم إذا كنا بصدد النظريات ذات التعميم العالي.

هناك مجالات جديدة للأبحاث أمام العالم الذي ينشد فهماً حقيقياً لعلمه. فنحن نتوجه نحو مجال متسع يضم العلم كجزء من السلوك البشري بوجه عام. ويمكننا أن نتحدث عن «اجتماعيات العلم» أو «خلفية الإنسانيات في العلم» إذا شئنا أن نرسم لهذه المجالات الجديدة إطار إسناد في طريقتنا التقليدية للكلام.

إن فلسفة العلم التي قدمت في هذا الكتاب تمس هذا الجانب الذرائعي في (الفصلين ٧، ١٠) عن التفسير الميتافيزيائي للعلم.

كثيراً جداً ما خدم العلم من خلال تفسيراته الميتافيزيائية كموجه مباشر للسلوك البشري. كما أن العلم من خلال تفسيراته التقنية قد دعم الهندسة الميكانيكية والكهربائية والنووية؛ وقد خدم من خلال تفسيراته الميتافيزيائية ما يسمى أحياناً «بالهندسة الانسانية». وإذا كنا ننشد الإفصاح في وقار على قدر المستطاع، فيمكننا أن نقول إن «فلسفة العلم» تؤدي في النهاية إلى البحث في «ذرائعية العلم» التي تتخيل نظاماً يشمل العلوم الفيزيائية والبيولوجية كما يشمل علوم السلوك البشري على حد سواء.

٤ ـ حواشي الفصل [١٥]

١ ـ أرثر كومبتون، فيزيائي أمريكي. اكتشف «تأثير كومبتون» عام ١٩٢٢. Physical Review، المجلد ٢١ (١٩٢٣)، صفحة ٧١٥ وما يليها.

٢ ـ إروين شرويدنجر، فيزيائي نمساوي. ظهرت أول مقالاته عن ميكانيكا الأمواج في مجلة Annalen der Physik، المجلد ٧٩ (١٩٢٦)، وترجمها جيمس ف. شيرر و و.م. دينز: «Collected papers on Wave Mechanics» (لندن وجلاسجو: بلاكي وولده، ١٩٢٨).

٣ ـ انظر الفصل ٩ الحاشية ٣.

٤ ـ فلاديمير لينين، «Materialism and Empirio- Criticism»، (نيويورك الناشرون الدوليون، ١٩٢٧).

٥ ـ اقترح تشارلز ساندرز بيرس في ورقة كتبها عام ١٨٩٧ أنه لا يمكن تقديم البنية المنطقية للعلم في علاقات ثنائية، لأنها تقوم على علاقات ثلاثية لا يمكن اجتزاؤها. (كمبريدج: مطبوعات جامعة هارفارد، ١٩٣٢) المجلد ٢، الفصل ٢.

٦ ـ يرى بيرس، مثلاً، أن «الرمز هو شيء يدل شخصاً ما على صفة معينة لشيء». نفس المرجع، المجلد٢، الفصل ٢، قسم ٢٢٨.

٧ ـ رودولف كارناب في «Foundations of Logic and Mathematics»، وتشارلز موريس في «Foundations of the Theory of signs»، والمقالان موجودان في دائرة المعارف الدولية للعلوم الموحدة (شيكاغو: مطبوعات جامعة شيكاغو، ١٩٥٥، المجلد١، الجزء ١.

٨ ـ انظر الفصل ٢، قسم ٩.

٩ ـ انظر الفصل ٢، قسم١.

١٠ ـ فيليب فرانك «The Reasons for the Acceptance of Scientific Theories» مجلة Scientific Monthly، المجلد ٧٩ (سبتمبر ١٩٥٤).

١١ ـ انظر الفصل ٢، قسم ٨.

١٢ ـ انظر الفصلين ٨، ٩.

١٣ ـ جورج والد (١٩٠٦) ـ)، بيولوجي أمريكي. انظر Scientific Monthly، المجلد ٧٩ (١٩٥٤).

١٤ ـ جورج جايلورد سمبسون (١٩٠٢) ـ)، عالم أمريكي في بانتليوجيا الفقاريات «The Meaning of Evolution» (نيوهافن: مطبوعات جامعة ييل، ١٩٤٩).

١٥ ـ ليكلومت دي نوي، «Human Destiny» (نيويورك ولندن، جرين وشركاؤه، ١٩٤٧).

الفهـرس

فلسفة العلم

فيليب فرانك

أستاذ الفيزياء النظرية بجامعة براغ حتى عام ١٩٣٨، وكان محاضراً جامعياً في الفيزياء وفلسفة العلوم بجامعة هارفارد من عام ١٩٤٠ حتى عام ١٩٥٥، وهو مؤلف كتب «بين الفيزياء والفلسفة»، و«العلوم الحديثة وفلسفتها»، و«أساس الفيزياء»، و«النسبية حقيقة أكثر ثراء»، و«أينشتاين ـ حياته وزمانه».

يقدم الدكتور فيليب فرانك في هذا الكتاب الحلقة المفقودة لسد الفجوة بين العلوم والانسانيات. وقد تتبع تاريخ العلوم منذ أرسطو حتى أينشتاين لكي يظهر كيف كانت الفلسفة دائماً جزءاً من العملية العلمية. ولم تتفكك علاقات الألفة بين النظريات الفيزيائية والنظم الفلسفية إلا بمقدم التكنولوجيا الحديثة.

يحاول الدكتور فرانك أن يستعيد الفكر القديم للفلسفة من خلال كتابه هذا «فلسفة العلم». وهو يحث على ان يهتم رجل العلم في عالم اليوم بأفكار العلوم أكثر من ان يكتفي بمجرد الحقائق.

ويؤكد المؤلف من خلال كتابه على أهمية التحقق من أن العلم ليس إلا جزءاً من المجال العريض للسعي البشري.

صمم الغلاف : كريم الحاج

الثمن ٣٨ ل.ل

المؤسّسة العربيّة للدراسات والنشر
بناية برج الكارلتون ـ ساقية الجنزير ـ ت ١/ ٨٠٧٩٠٠
برقيا ـ موكيالي بيروت ـ ص.ب: ٥٤٦٠ ـ ١١ بيروت